



TESIS -TE142599

**IMPLEMENTASI KENDALI LOGIKA *FUZZY* DAN
PENGENALAN POLA *SUPPORT VECTOR*
MACHINE PADA *OLFACTORY ARM MOBILE*
ROBOT UNTUK IDENTIFIKASI GAS**

RENDYANSYAH
2213204004

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS -TE142599

IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROL AND SUPPORT VECTOR MACHINE PATTERN RECOGNITION IN OLFACTORY ARM MOBILE ROBOT FOR GAS IDENTIFICATION

RENDYANSYAH
2213204004

SUPERVISOR
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D


MAGISTER PROGRAM
FIELD IN ELECTRONICS
ELECTRICAL DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Rendyansyah
Nrp. 2213204004**

**Tanggal Ujian : 23 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015**

Disetujui oleh:


**1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
NIP: 19690426 199403 1 003**

(Pembimbing I)


**2. Ir. Djoko Purwanto, M. Eng., Ph.D.
NIP: 19651211 199002 1 002**

(Pembimbing II)


**3. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP: 19700212 199512 1 001**

(Penguji)


**4. Achmad Arifin, ST., MEng., Ph.D.
NIP: 19710314 199702 1 001**

(Penguji)


**5. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP: 19810118 200312 1 003**

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,


**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP: 19640405 199002 1 001**



IMPLEMENTASI KENDALI LOGIKA *FUZZY* DAN PENGENALAN POLA *SUPPORT VECTOR MACHINE* PADA *OLFACTORY ARM MOBILE ROBOT* UNTUK IDENTIFIKASI GAS

Nama Mahasiswa : Rendyansyah
NRP : 2213204004
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Dalam lingkungan masyarakat adanya temuan benda mencurigakan yang berisi bensin dalam botol dengan lilitan kabel dan baterai yang disebut dengan bom molotov. Ada juga benda yang terbungkus plastik berisi tabung gas LPG yang juga ada lilitan kabel. Benda tersebut sengaja diletakkan orang di jalanan, halaman rumah dan lapangan parkir. Oleh karena itu manusia merasa takut untuk mendekati benda tersebut yang akan berakibat fatal jika terbakar atau meledak. Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan alat yang dapat menggantikan petugas dalam memeriksa kebenaran benda tersebut berdasarkan bau gas. Beberapa tahun terakhir, robot sebagai teknologi yang dapat diaplikasikan untuk menangani kasus pencarian berbasis penciuman. Pada penelitian ini telah dirancang *olfactory arm mobile robot* (*mobile robot* yang dilengkapi lengan robot dan hidung elektronik) untuk memeriksa benda yang dicurigai. Robot dikendalikan secara manual untuk menuju benda. Selanjutnya, ketika robot sampai pada target terdekat berjarak kurang lebih 20 cm maka navigasi otomatis pada *mobile robot* digunakan untuk mengelilingi benda dan lengan robot berfungsi untuk mendekatkan sensor gas dengan benda agar diketahui informasi yang pasti. Pergerakan *mobile robot* dan lengan robot dikontrol menggunakan logika *fuzzy*, dan untuk mengenali gas bensin dan LPG/butane pada benda tersebut menggunakan klasifikasi *Support Vector Machine* (SVM). *Mobile robot* berhasil mengelilingi target benda selama satu kali putaran dengan akurasi rata-rata yaitu 91.95%, dan lengan robot juga mampu menemukan posisi adanya gas pada benda dengan *error* rata-rata yaitu 3.47% dengan respon waktu kurang dari 10 detik. Robot yang dilengkapi dengan hidung elektronik mampu mengenali gas dengan akurasi rata-rata yaitu 98.45%. Secara keseluruhan sistem *olfactory arm mobile robot* berhasil mendeteksi adanya gas pada benda dan juga berhasil dalam mengidentifikasi gas tersebut.

Kata Kunci : *E-nose*, Lengan Robot, Logika *Fuzzy*, *Olfactory Mobile robot*, *Support Vector Machine*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

IMPLEMENTATION OF FUZZY LOGIC CONTROL AND SUPPORT VECTOR MACHINE PATTERN RECOGNITION IN OLFACTORY ARM MOBILE ROBOT FOR GAS IDENTIFICATION

Name : Rendyansyah
Student Identity Number : 2213204004
Supervisor : 1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
2. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

In our environment, sometimes suspicious and dangerous objects are found, such as molotov bomb or the tube of LPG gas wrapped in wire. Those objects are placed in the roads, house yard, or parking lot. People are afraid to approach those objects because it can burn or explode. Therefore, a device to substitute a human is needed to check the object based on the gas smell. In recent years, robot is used as an applicable technology in smell-based searching case. In this research, olfactory arm mobile robot to check suspicious object is designed. The robot is controlled manually to approach the object. Then, once the robot approaches the nearest object less than 20 cm, the automatic navigation in the mobile robot is used to surround the object and the robot arm is used to bring the gas sensor near the object to get information. The movement of mobile robot and robot arm is controlled using fuzzy logic while benzene and LPG/butane gas is recognized using Support Vector Machine classification. Mobile robot is successfully surrounding the target object for one full rotation with average accuracy of 91.95%. The robot arm is also successfully found the position of gas in the object with average error of 3.47% and response time less than 10s. The robot completed with electronic nose is able to detect gas with average accuracy of 98.45%. Generally, the olfactory arm mobile robot system is successful in detecting gas in an object and identifying the gas.

Keywords : E-nose, Fuzzy Logic, Olfactory Mobile Robot, Robot Arm, Support Vector Machine.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala rahmat-Nya lah penelitian ini dapat diselesaikan. Adapun penelitian ini yang berjudul “Implementasi Kendali Logika *Fuzzy* dan Pengenalan Pola *Support Vector Machine* Pada *Olfactory Arm Mobile robot* Untuk Identifikasi Gas”. Penelitian ini diselesaikan dan disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Jurusan Teknik Elektro bidang keahlian Elektronika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan penelitian ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati maka penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang tercinta Bapak Gunawan Eddy, Amd, Pd., dan Ibu Rosmala Dewi yang selalu memberikan dukungan dan do’a-nya.
2. Bapak Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. dan Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan dan saran.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku koordinator Bidang Studi Elektronika.
5. Bapak Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektronika Institut ITS.
6. Rekan-rekan seperjuangan S2 Elektronika ITS atas segala bantuan dan sumbangan fikiran dan tenaga dalam menyelesaikan penelitian ini.
7. Saudaraku Febby Riansyah, S.Pd.I., Ginia Tryssonina, S.Pd., dan Gisti Helviyana yang juga memberikan dukungan dan do’a-nya.
8. Semua pihak yang tidak mungkin bagi penulis untuk mencantumkan nama satu persatu, terima kasih banyak atas segala bantuan dan dukungannya.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa penelitian ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 <i>Olfactory Mobile Robot</i> Untuk Mendeteksi Kebocoran Gas	5
2.2 <i>Olfactory Mobile Robot</i> Untuk Mendeklarasikan Sumber Gas	8
2.3 <i>Olfactory Mobile Robot</i> Untuk Melokalisasi Sumber Gas	12
2.4 <i>Olfactory Mobile Robot</i> Untuk Mengidentifikasi Sumber Gas	15
2.5 Lengan Robot	18
2.6 <i>Electronic Nose</i>	21
2.7 Kendali Logika <i>Fuzzy</i>	23
2.8 Pengenalan Pola <i>Support Vector Machine</i>	25
2.9 Diagram <i>Fishbone</i>	28
BAB 3 METODA PENELITIAN	31
3.1 Studi Pustaka dan Literatur	32
3.2 Rancang Bangun <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i>	32
3.3 Perancangan Perangkat Lunak <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i>	39
3.3.1 Logika <i>Fuzzy</i> Untuk Pergerakan <i>Mobile Robot</i>	39
3.3.2 Logika <i>Fuzzy</i> Untuk Pergerakan Lengan Robot	44
3.3.3 <i>Support Vector Machine</i> Untuk Identifikasi Gas	48
3.4 Evaluasi Kemampuan <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i> Untuk Identifikasi Gas	50
3.5 Analisa Data	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengujian Pergerakan <i>Mobile Robot</i> Secara Manual	54
4.2 Pengujian Pergerakan <i>Mobile Robot</i> Untuk Gerak Otomatis	55
4.2.1 Pengujian Jarak Antar <i>Mobile Robot</i> Dengan Benda	55
4.2.2 Pengujian Sudut Belok <i>Mobile Robot</i>	57

4.2.3	Pengujian Kecepatan <i>Mobile Robot</i>	58
4.2.4	Pengujian Pergerakan <i>Mobile robot</i> Untuk Mengelilingi Benda	59
4.3	Pengujian Pergerakan Lengan Robot.....	64
4.3.1	Pengujian Sensor Gas	65
4.3.2	Pengujian Sudut Motor Servo Pada Lengan Robot	66
4.3.3	Pengujian Pergerakan Lengan Robot Dalam Menemukan Konsentrasi Gas	68
4.4	Pengujian <i>E-nose</i>	72
4.4.1	Pengambilan Pola Tegangan Sensor Gas Untuk Setiap Sampel Gas ..	73
4.4.2	Pengujian <i>E-nose</i> Dengan SVM Untuk Identifikasi Gas.....	74
4.5	Pengujian <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i>	77
4.5.1	Pengujian <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i> Menginspeksi Benda Berisi Gas Bensin	77
4.5.2	Pengujian <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i> Menginspeksi Benda Berisi Gas Butane.....	80
4.5.3	Evaluasi <i>Olfactory Arm Mobile Robot</i> Terhadap Sampel Jenis Gas ..	84
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		87
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.	88
DAFTAR PUSTAKA.....		89
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....		93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sensor gas pembentuk <i>e-nose</i> .	15
Tabel 2.2. DH parameter lengan robot 3 DOF manipulator.	18
Tabel 3.1. Basis aturan kelompok pertama dari nilai <i>error</i> jarak	42
Tabel 3.2. Basis aturan kelompok kedua dari nilai <i>error</i> jarak	42
Tabel 3.3. Basis aturan kelompok pertama dari nilai <i>error</i> konsentrasi	46
Tabel 3.4. Basis aturan kelompok kedua dari nilai <i>error</i> konsentrasi	47
Tabel 4.1. Pengujian kendali manual perintah gerak untuk <i>mobile robot</i>	54
Tabel 4.2. Hasil pengujian sensor jarak terhadap benda	55
Tabel 4.3. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut belok	57
Tabel 4.4. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai kecepatan	59
Tabel 4.5. Performa <i>mobile robot</i> untuk tetap berada pada <i>set point</i> 20 cm terhadap dinding benda	64
Tabel 4.6. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut lengan	67
Tabel 4.7. Pengujian lengan robot dalam mendeteksi target gas bensin	70
Tabel 4.8. Pengujian lengan robot dalam mendeteksi target gas butane	70
Tabel 4.9. Respon dari gas bensin	73
Tabel 4.10. Respon dari gas butane	73
Tabel 4.11. Hasil pengujian identifikasi gas bensin dan butane menggunakan klasifikasi SVM <i>one vs other</i>	75
Tabel 4.12. Evaluasi performansi dari klasifikasi SVM dalam mengidentifikasi gas bensin dan butane	76
Tabel 4.13. Hasil pengujian <i>olfactory robot</i> dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin	80
Tabel 4.14. Hasil pengujian <i>olfactory robot</i> dalam menginspeksi benda yang berisi gas butane	82
Tabel 4.15. Hasil pengujian <i>olfactory arm mobile robot</i> dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin dan butane	84

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Platform yang digunakan dalam percobaan, (a) <i>mobile robot</i> , (b) LIDAR sensor, (c) <i>windsonic anemometer</i>	5
Gambar 2.2. Pergerakan <i>mobile robot</i> dalam menjelajahi ruangan.	6
Gambar 2.3. Pengukuran konsentrasi gas, (a) <i>mobile robot</i> menjelajahi ruangan dengan sumber kebocoran gas (titik kuning), (b) untuk mengetahui batas ambang.	7
Gambar 2.4. <i>Mobile robot</i> dan sumber gas yang digunakan pada percobaan di lingkungan luar.	8
Gambar 2.5. Hubungan antara <i>threshold</i> η dengan rasio n_D / N_D	9
Gambar 2.6. Ilustrasi percobaan untuk kelompok pertama, (a) $t = 119.0$ s, (b) $t = 207.5$ s.....	10
Gambar 2.7. Informasi secara rinci serta arah dan kecepatan angin selama dilakukan percobaan.	10
Gambar 2.8. Ilustrasi dari hasil 20 percobaan pada kelompok pertama, (a) mengelilingi benda sumber gas, (b) bukan sumber gas.....	11
Gambar 2.9. Ilustrasi dari hasil 26 percobaan pada kelompok kedua, (a) mengelilingi benda sumber gas, (b) bukan sumber gas.....	11
Gambar 2.10. Struktur strategi pencarian berbasis perilaku.....	12
Gambar 2.11. Algoritma <i>spiral surge</i>	13
Gambar 2.12. (a) Platform <i>mobile robot</i> , (b) sumber gas.	14
Gambar 2.13. Hasil pencarian dari proses lokalisasi keseluruhan.	14
Gambar 2.14. <i>Mobile robot</i> lengkap beserta lokasi percobaan, (a) <i>mobile robot</i> dengan <i>e-nose</i> dan anemometer, (b) <i>indoor</i> , (c) <i>outdoor</i>	15
Gambar 2.15. Pergerakan <i>mobile robot</i> , (a) trajektori mencari sumber gas isopropyl, (b) trajektori mencari sumber gas etanol.....	16
Gambar 2.16. Performa klasifikasi berdasarkan pendekatan <i>filter</i>	17
Gambar 2.17. Performa klasifikasi berdasarkan pendekatan <i>wrapper</i>	17
Gambar 2.18. Bentuk lengan robot tiga derajat kebebasan.....	18
Gambar 2.19. Diagram blok sistem lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas.....	20
Gambar 2.20. Perancangan perangkat lunak untuk pergerakan lengan robot.	21
Gambar 2.21. Diagram blok sistem <i>e-nose</i> untuk identifikasi gas.....	22
Gambar 2.22. Hasil realisasi sistem <i>e-nose</i> menggunakan deret sensor gas.....	22
Gambar 2.23. Sistem <i>monitoring</i> aroma daging berbasis <i>e-nose</i>	23
Gambar 2.24. Diagram blok kendali logika <i>fuzzy</i>	24
Gambar 2.25. Bidang pemisah <i>hyperplane</i> untuk kasus dua kelas, (a) kasus <i>linear</i> , (b) kasus <i>non-linear</i>	25

Gambar 2.26. Diagram <i>fishbone</i> yang dibentuk dari beberapa penelitian sehingga mengarah pada topik penelitian.	29
Gambar 3.1. Tahapan penelitian.....	31
Gambar 3.2. Ilustrasi studi pustaka dan literatur serta persiapan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.....	32
Gambar 3.3. Tahapan perancangan <i>olfactory arm mobile robot</i>	33
Gambar 3.4. Rancang bangun <i>olfactory arm mobile robot</i> , (a) tampak samping, (b) tampak depan.....	34
Gambar 3.5. Ilustrasi perangkat keras dari sistem <i>olfactory arm mobile robot</i>	35
Gambar 3.6. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535.....	36
Gambar 3.7. Rangkaian sensor jarak.....	36
Gambar 3.8. Rangkaian sensor gas, (a) TGS, (b) MQ.....	37
Gambar 3.9. Rangkaian <i>driver</i> motor DC.....	37
Gambar 3.10. Koneksi antar modul KYL-1020U dengan mikrokontroler.....	38
Gambar 3.11. Tahapan perancangan perangkat lunak <i>olfactory arm mobile robot</i>	38
Gambar 3.12. Diagram blok kendali logika <i>fuzzy</i> untuk pergerakan <i>mobile robot</i> , (a) untuk sisi kiri, (b) untuk sisi kanan	39
Gambar 3.13. Sensor jarak yang dipasang pada <i>mobile robot</i>	40
Gambar 3.14. Fungsi keanggotaan untuk masukan <i>error</i> jarak	41
Gambar 3.15. Fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran posisi	43
Gambar 3.16. Diagram blok kendali logika <i>fuzzy</i> untuk pergerakan lengan robot, (a) gerak horizontal, (b) gerak vertikal	43
Gambar 3.17. (a) sudut gerak servo 1 untuk gerak horizontal, (b) sudut servo 2 dan 3 untuk gerak vertikal, dan (c) peletakan empat sensor gas tampak depan	44
Gambar 3.18. Fungsi keanggotaan untuk masukan <i>error</i> konsentrasi	46
Gambar 3.19. Fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran sudut servo	47
Gambar 3.20. Rancangan pembuatan program SVM untuk identifikasi jenis gas	48
Gambar 3.21. Arsitektur SVM dengan metode <i>one vs others</i> untuk <i>e-nose</i>	49
Gambar 3.22. Tahapan pengujian <i>olfactory arm mobile robot</i>	50
Gambar 4.1. Bentuk <i>olfactory arm mobile robot</i> yang telah dibuat, (a) dilihat dari samping, (b) dari depan.....	53
Gambar 4.2. Tampilan <i>interface visual</i> untuk mengendalikan <i>mobile robot</i> secara manual di dalam komputer.....	54
Gambar 4.3. <i>Setting</i> pengujian jarak benda dengan sensor jarak	55
Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian sensor jarak terhadap benda	56
Gambar 4.5. Roda depan dan motor servo sebagai arah gerak <i>mobile robot</i>	56
Gambar 4.6. Grafik hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi ke nilai sudut belok.....	57

Gambar 4.7. <i>Setting</i> pengujian kecepatan <i>mobile robot</i> untuk jarak tempuh 100 cm.....	58
Gambar 4.8. Benda yang digunakan dalam percobaan, (a) benda 1, (b) benda 2, (c) benda 3	59
Gambar 4.9. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kanan benda 1	60
Gambar 4.10. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kiri benda 1	60
Gambar 4.11. Lintasan <i>mobile robot</i> pada benda 1, (a) sisi kanan, (b) kiri	61
Gambar 4.12. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kanan benda 2	61
Gambar 4.13. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kiri benda 2	62
Gambar 4.14. Lintasan <i>mobile robot</i> pada benda 2, (a) sisi kanan, (b) kiri	62
Gambar 4.15. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kanan benda 3	63
Gambar 4.16. Respon <i>mobile robot</i> dalam mengelilingi sisi kiri benda 3	63
Gambar 4.17. Lintasan <i>mobile robot</i> pada benda 3, (a) sisi kanan, (b) kiri	63
Gambar 4.18. <i>Setting</i> percobaan sensor gas dalam mendeteksi gas.	65
Gambar 4.19. Respon dari empat sensor gas dalam mendeteksi gas bensin, (a) percobaan 1, (b) percobaan 2	66
Gambar 4.20. Respon dari empat sensor gas dalam mendeteksi gas butane, (a) percobaan 1, (b) percobaan 2	66
Gambar 4.21. Grafik hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi ke nilai sudut lengan.	67
Gambar 4.22. <i>Setting</i> pengujian lengan robot dalam menemukan konsentrasi gas bensin atau butane, (a) tampak samping, (b) atas	68
Gambar 4.23. Respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas bensin pada benda, (a) target 60°, (b) 90° dan (c) 120°	69
Gambar 4.24. Respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas butane pada benda, (a) target 60°, (b) 90° dan (c) 120°	71
Gambar 4.25. Ilustrasi pergerakan lengan robot dalam mendeteksi gas bensin dan butane pada benda, (a) target 60°, 90° dan (c) 120°	72
Gambar 4.26. Bentuk pola dari sampel gas, (a) gas bensin dan (b) butane	74
Gambar 4.27. <i>Setting</i> percobaan <i>olfactory arm mobile robot</i> dalam menginspeksi benda, (a) sisi kanan, (b) kiri	77
Gambar 4.28. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas bensin, (a) respon jarak, (b) sensor gas	78
Gambar 4.29. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas bensin, (a) respon jarak, (b) sensor gas	79
Gambar 4.30. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas butane, (a) respon jarak, (b) sensor gas	81
Gambar 4.31. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas butane, (a) respon jarak, (b) sensor gas	81
Gambar 4.32. <i>Snapshot</i> pergerakan sisi kanan <i>olfactory arm mobile robot</i> dalam menginspeksi benda berisi gas bensin atau butane.....	83

Gambar 4.33. *Snapshot* pergerakan sisi kiri *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda berisi gas bensin atau butane 83

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada penelitian ini dilakukan kegiatan rancang bangun *olfactory arm mobile robot* dengan mengimplementasikan kendali logika *fuzzy* dan pengenalan pola *Support Vector Machine* (SVM) untuk identifikasi gas. *Olfactory arm mobile robot* yaitu *mobile robot* yang dilengkapi dengan lengan robot dan *electronic nose* di ujung lengan. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat, dan batasan masalah.

1.1 Latar Belakang

Ada saatnya manusia tidak dapat melakukan tugasnya dikarenakan kondisi jarak, keterbatasan fisik, situasi dan kondisi tertentu. Beberapa tahun terakhir, dalam lingkungan masyarakat adanya temuan benda yang dicurigai berisi bensin dalam botol yang dililiti kabel dan batere, dikenal dengan istilah bom molotov. Ada juga benda mencurigakan berupa tabung gas LPG yang terlilit kabel dan dibungkus dengan plastik. Benda tersebut sengaja diletakan oleh orang di jalanan, halaman parkir bahkan di depan halaman rumah, sehingga menimbulkan kecurigaan pada masyarakat yang dapat menyebabkan kebakaran bahkan ledakan. Oleh karena itu manusia tidak mau mengambil resiko untuk mencoba mendekati benda tersebut. Sehingga dibutuhkan alat yang dapat memeriksa kebenaran benda tersebut apakah benar berisi bau bensin, butane atau orang hanya menakuti dengan mengisi air biasa. Pada masa sekarang ini, aplikasi robot sudah banyak digunakan untuk membantu meringankan tugas manusia dalam menyelesaikan pekerjaan. Salah satu pekerjaan yang sering dilakukan oleh robot yaitu menginvestigasi area yang diduga berbahaya untuk menggantikan peran manusia (Redden dkk, 2008). Walaupun ada juga tugas yang lebih baik dilakukan oleh manusia dari pada robot. Akan tetapi terkait masalah adanya benda yang dicurigai berisi bensin atau LPG yang terlilit kabel dan batere, maka lebih praktis sebaiknya menggunakan robot dengan sistem penciuman untuk melakukan pemeriksaan

tersebut. Sehingga operator seolah terlibat dalam menginspeksi pada benda yang dicurigai tanpa harus mendekatinya secara langsung dan jika berbahaya maka dapat dihindari.

Penelitian tentang *olfactory robot* yang dilakukan oleh peneliti dalam mendeteksi gas pada benda dengan mensimulasikan jenis gas, seperti oktanol, etanol, dan *trinitrotoluene* yang disesuaikan dengan penggunaan sensor gas (Loutfi dkk, 2004; Loutfi dkk, 2005; Jiang dkk, 2008). Kemudian dikembangkan *mobile robot* dengan metode kecerdasan untuk mendeteksi adanya gas (Martinez dkk, 2014), mendeklarasi target gas (Li dkk, 2010), melokalisasi target gas (Lilienthal dkk, 2004a; Jiang dkk, 2014) dan mengidentifikasi jenis gas (Loutfi dkk, 2005; Trincavelli dkk, 2010). Sehingga pada aplikasi *olfactory mobile robot* menjadi topik dalam penelitian ini untuk digunakan mendeteksi dan mengenali jenis gas pada benda yang dicurigai. Dengan mengaplikasikan sensor gas dan *electronic-nose* yang ditempatkan pada *mobile robot* dapat menggantikan indra penciuman dalam mendeteksi dan mengetahui jenis gas (Loutfi dkk, 2005). Untuk mengenali jenis gas bisa menggunakan teknik klasifikasi berdasarkan pola dari respon keluaran *e-nose*. Salah satu metode terbaru untuk kasus pengenalan pola yaitu *Support Vector Machine* (Byun dan Lee, 2003). Metode ini dapat mengenali pola data yang bersifat *linear* maupun *non-linear* (Burgess, 1998; Wang dkk, 2005), dan pantas untuk diterapkan pada *e-nose* dalam aplikasi *mobile robot*.

Kebanyakan sensor gas hanya ditempatkan pada bagian depan, kiri maupun kanan dari *mobile robot* (Lilienthal dkk, 2004a; Ishida dkk, 2005), terkadang belum memberikan dugaan yang kuat dalam mendeteksi adanya gas pada benda. Oleh karena itu diperlukan cara supaya sensor gas atau *e-nose* lebih dekat dengan target dan lebih meyakinkan terdeteksinya gas. Gohil dkk (2013) dan Ramya dkk (2013) mengusulkan suatu lengan robot agar dapat membantu peralatan yang ada di ujung lengannya supaya mencapai tujuan yang dikehendaki, namun pergerakannya masih dikendalikan secara manual. Oleh karena itu perlu dirancang pergerakan lengan robot secara otomatis yang terintegrasi dengan sensor gas untuk diaplikasikan pada *mobile robot* dalam mendeteksi gas.

Pada saat seorang operator mengetahui posisi benda mencurigakan berisi bensin atau tabung LPG dengan rangkaian kabel dan batere, maka dapat

memanfaatkan *olfactory mobile robot* untuk memastikan benda tersebut. Robot dikendalikan secara manual menuju target yang jaraknya masih jauh menggunakan komunikasi *wireless*. Namun, ketika robot sudah dekat dengan target maka pergerakan secara otomatis diaktifkan untuk memeriksa target tersebut. Pergerakan *mobile robot* dan lengan robot dilakukan otomatis selama proses inspeksi dengan mengelilingi benda. Kondisi yang sulit untuk diperkirakan menyebabkan rumitnya pengendalian apabila menggunakan kendali secara konvensional. Sistem kendali konvensional pada *mobile robot* dan lengan robot begitu kompleks karena menggunakan persamaan matematis yang sulit, sehingga mengalami kesulitan jika diimplementasikan pada kondisi yang sulit diprediksi. Di sisi lain, teknik kecerdasan buatan seperti kendali logika *fuzzy* yang mudah dalam perancangan karena menirukan logika seorang pakar tanpa perlu model matematis dari sistem (Fatmi dkk, 2006; El-Teleity dkk, 2011). Pada kendali logika *fuzzy* dikenal dengan model Mamdani dan Sugeno (Fahmizal dan Kuo, 2013; Farooq dkk, 2010). Model Mamdani memerlukan perhitungan yang teliti sehingga menyebabkan respon menjadi lambat. Sedangkan model Sugeno dengan perhitungan sederhana yang dapat diterapkan pada aplikasi berbasis mikrokontroler ber-memori rendah.

Penelitian ini mengimplementasikan kendali logika *fuzzy* dengan model Sugeno untuk navigasi lengan robot dan *mobile robot (arm mobile robot)*, dan klasifikasi *support vector machine (SVM)* untuk sistem *e-nose* dalam mengidentifikasi gas (*olfactory*). Keduanya diintegrasikan menjadi *olfactory arm mobile robot* untuk identifikasi gas pada benda yang dicurigai.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka perumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana membuat sistem *olfactory arm mobile robot* dengan mengimplementasikan kendali logika *fuzzy* dan pengenalan pola *Support Vector Machine (SVM)* untuk identifikasi gas pada benda yang dicurigai berisi bensin atau LPG yang ada dalam lingkungan masyarakat. Adapun permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pergerakan *mobile robot* selama proses mengelilingi benda
2. Bagaimana pergerakan lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas untuk mencari dan mendeteksi gas
3. Bagaimana sistem *e-nose* dapat mengidentifikasi gas
4. Bagaimana sistem *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Secara umum, tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan sistem *olfactory arm mobile robot* dengan mengimplementasikan kendali logika *fuzzy* dan pengenalan pola *Support Vector Machine* (SVM) untuk identifikasi gas pada benda yang dicurigai berisi bensin atau LPG yang ada dalam lingkungan masyarakat. Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan pergerakan *mobile robot* selama proses mengelilingi benda
2. Mendapatkan pergerakan lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas untuk mencari dan mendeteksi gas
3. Menghasilkan sistem *e-nose* yang dapat mengidentifikasi gas
4. Menghasilkan sistem *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda secara otomatis.

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini, yaitu adanya *olfactory arm mobile robot* yang dapat membantu petugas dalam mengamati dan memastikan kebenaran dari benda mencurigakan berdasarkan bau gas. Selama proses inspeksi berlangsung, jika benda tersebut memang berisi bensin atau LPG yang kemudian tiba-tiba terbakar atau meledak maka petugas terhindar dari bahaya.

1.4 Batasan Masalah

Sistem yang dibangun dalam penelitian ini diberi batasan beberapa hal :

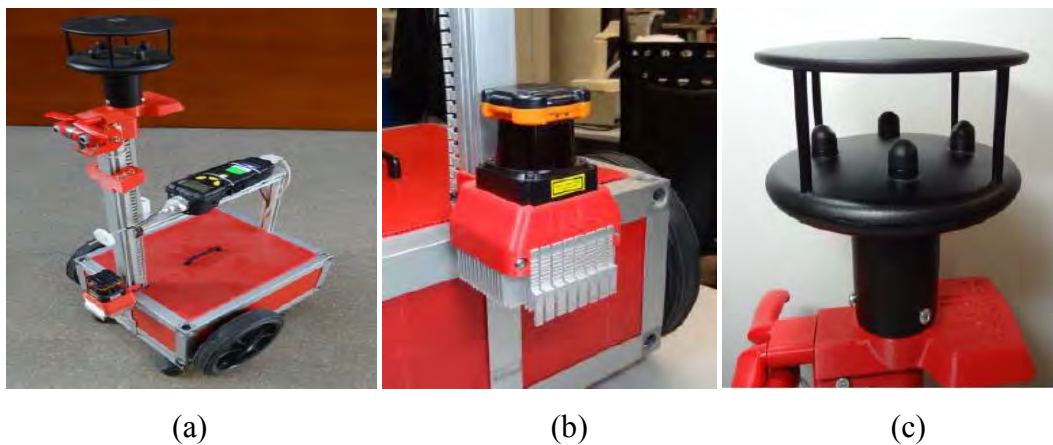
1. Area di sekitar robot dengan target benda tidak ada penghalang.
2. Target benda mencurigakan dengan bentuk persegi.
3. Gas yang digunakan yaitu gas bensin dan LPG/butane.
4. Posisi terendah yang dicapai lengan robot yaitu 20 cm dan tertinggi 28 cm.
5. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium.

BAB 2

Pada perancangan *olfactory arm mobile robot* untuk identifikasi gas pada benda, dibutuhkan pengetahuan tentang *olfactory mobile robot*, lengan robot, *e-nose*, dan teknik algoritmanya. Berikut akan dibahas beberapa kajian pustaka dan dasar teori yang dijelaskan pada bagian berikut ini.

2.1 *Olfactory Mobile Robot* Untuk Mendeteksi Kebocoran Gas

Martinez dkk (2014) membuat *mobile robot* otonom untuk mendeteksi kebocoran gas di dalam ruangan. *Mobile robot* ini untuk mengekploirasi dan memetakan area di dalam ruangan, lalu mencari sumber kebocoran gas. Robot ini telah dilengkapi dengan alat detektor agar dapat mendeteksi kebocoran gas berbahaya yang mudah menguap. *Mobile robot* dirancang dari platform polyvalent dengan ukuran sederhana. *Mobile robot* yang telah terintegrasi dengan beberapa sensor yang digunakan di dalam percobaan seperti ditunjukan pada Gambar 2.1. Laser range sensor (LIDAR) digunakan sebagai pemetaan jarak dari 0.1 m sampai 30 m dengan dimensi sudut -131° sampai $+135^{\circ}$. Pengukuran tingkat konsentrasi gas di area menggunakan *photoionization detector*. Udara sekitar ruangan juga mempengaruhi proses pendeteksian gas, sehingga membutuhkan

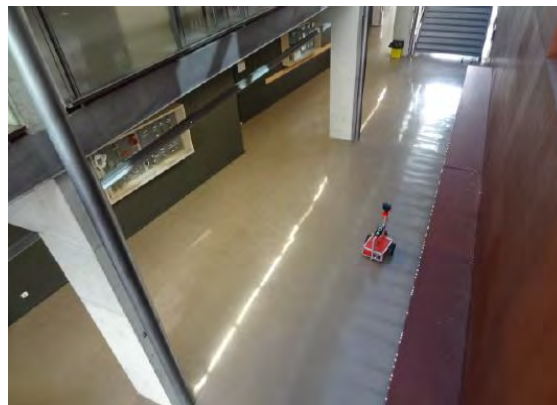


Gambar 2.1. Platform yang digunakan dalam percobaan, (a) *mobile robot*, (b) LIDAR sensor, (c) *windsonic anemometer*. (Martinez dkk, 2014).

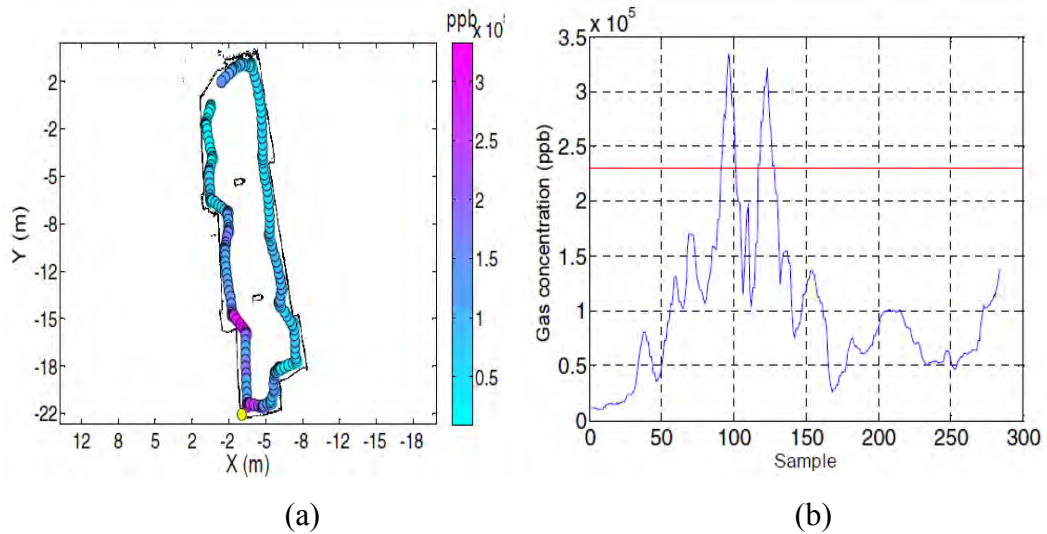
windsonic anemometer untuk mengetahui arah aliran dan kecepatan udara. Untuk mensimulasikan adanya kebocoran maka digunakan gas aseton dengan bantuan kipas agar lebih cepat penguapannya.

Komputasi dari *mobile robot* dibuat dengan beberapa prosedur secara terpisah namun saling melengkapi. Adapun tahapan metode yang dilakukan oleh penelitiannya seperti, (1) Penjelajahan robot; *mobile robot* diprogram untuk mengikuti sepanjang dinding dalam ruangan, dimana robot hanya berjalan pada dinding kanan saja. Perencanaan jalur robot ini ditentukan dari data yang dibaca oleh sensor LIDAR. Navigasi seperti menghindari halangan juga ditanamkan ke dalam robotnya, sehingga robot mampu menelusuri tepi dinding sampai mencapai area finish yang ditentukan. (2) Pemetaan dan lokalisasi secara serempak (SLAM); pemetaan diperoleh dari informasi lingkungan yang dideteksi oleh sensor LIDAR. Untuk memudahkan proses komputasi, dialokasi dalam bentuk matrik yang berisi nilai 0 dan 1. Nilai 0 menandakan tidak ada halangan, sedangkan nilai 1 menandakan adanya halangan. Sensor LIDAR men-*scan* pertama kali untuk disimpan sebagai referensi, lalu robot bergerak dan SLAM melakukan *template matching* antara peta referensi dengan peta *scan* LIDAR yang baru.

Metode ini membandingkan *template* dari posisi -15 ke +15 untuk menentukan arah rotasi dari -15° sampai +15°. Proses ini terus dilakukan sampai robot selesai menelusuri area. (3) Mencari fokus gas; memperkirakan kebocoran gas didapat dari sekumpulan informasi pada prosedur SLAM. Informasi tersebut



Gambar 2.2. Pergerakan *mobile robot* dalam menjelajahi ruangan. (Martinez dkk, 2014)



Gambar 2.3. Pengukuran konsentrasi gas, (a) *mobile robot* menjelajahi ruangan dengan sumber kebocoran gas (titik kuning), (b) untuk mengetahui batas ambang. (Martinez dkk, 2014)

diproses agar menemukan dugaan yang kuat terhadap sumber kebocoran gas yang sebenarnya. Dimana fokusnya diketahui dengan menghitung pusat masa tingkat konsentrasi gas dari posisi yang dituju sehingga diperoleh perkiraan yang akurat terhadap posisi sumber kebocoran gas.

Percobaan dilakukan di dalam ruangan dan terdapat sumber kebocoran gas. Adapun ilustrasi pergerakan *mobile robot* dalam menjelajahi ruangan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Hasilnya *mobile robot* mampu memetakan area dalam ruangan dengan benar dan mengambil konsentrasi gas untuk memperkirakan sumber kebocoran. Sehingga *mobile robot* mampu menemukan sumber kebocoran gas dengan mendeteksi puncak sinyal pada batas ambang relatif. Lintasan yang dibentuk oleh *mobile robot* dengan konsentrasi gas pada tiap sampel posisi robot ditunjukkan pada Gambar 2.3(a). Oleh karena itu, diketahui fokus gas yang sebenarnya (titik warna kuning), sehingga dapat diartikan sebagai jejak yang pasti untuk menemukan sumber kebocoran gas. Pengukuran batas ambang konsentrasi gas ditunjukkan pada Gambar 2.3(b). *Mobile robot* ini juga mengetahui rata-rata dari sampel koordinat untuk setiap puncak konsentrasi. *Mobile robot* diperkirakan mampu menemukan sumber kebocoran gas pada jarak kurang dari 1 meter.

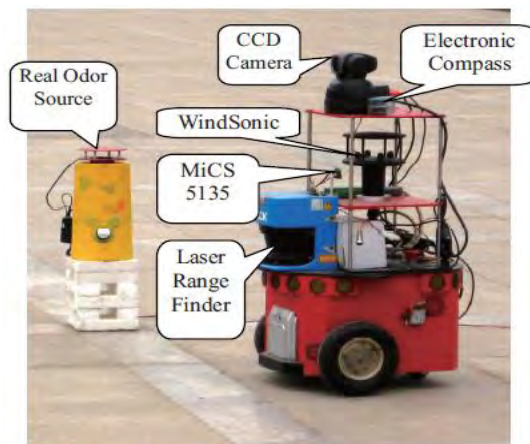
2.2 Olfactory Mobile Robot Untuk Mendeklarasikan Sumber Gas

Li dkk (2010) merancang *mobile robot* untuk mendeklarasi sumber gas di luar ruangan. Untuk mengetahui kemungkinan sumber akibat terdeteksinya bau secara menyebar, logika aturan ditanamkan berdasarkan statistik, dan mengelilingi benda yang diduga sumber untuk mengumpulkan informasi terhadap konsentrasi gas. *Mobile robot* ini dilengkapi dengan sensor gas (MIC 5135) dengan *threshold adaptive*, anemometer (windsonic) untuk mengetahui kecepatan dan arah aliran udara, laser rangefinder (LMS200), kompas elektronik, dan prosesor Pentium 4 1.5 GHz sebagai pusat pengolah data. *Mobile robot* dan sumber gas yang digunakan dalam percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Metode yang diusulkan oleh Li dkk (2010) terinspirasi dari logika berpikir manusia. Jika benda berupa sumber gas dikelilingi oleh *mobile robot*, maka terdapat kemungkinan akan terdeteksi gas yang cukup kuat yang dihasilkan dari benda tersebut. Namun sebaliknya, ketika benda bukan sumber gas yang dikelilingi oleh *mobile robot* maka kemungkinan terdeteksi adanya gas jarang terjadi dan memang tidak ada gas pada benda tersebut. Adapun aturan logika berdasarkan statistik yang digunakan pada *mobile robot* diekspresikan pada Persamaan (2.1),

$$(N_D \geq N_{thr}) \wedge (n_D / N_D \geq \xi) \leftrightarrow O \quad (2.1-a)$$

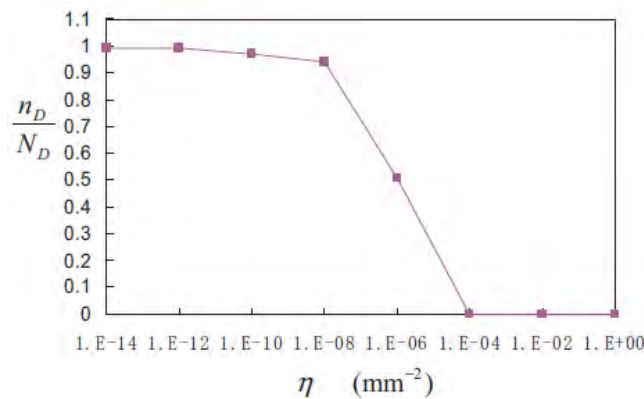
$$(N_D < N_{thr}) \vee (n_D / N_D < \xi) \leftrightarrow \bar{O} \quad (2.1-b)$$



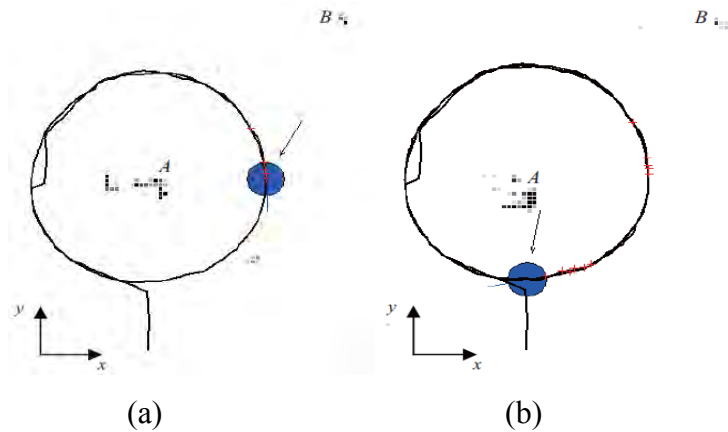
Gambar 2.4. *Mobile robot* dan sumber gas yang digunakan pada percobaan di lingkungan luar (Li dkk, 2010).

dimana O menyatakan sumber gas asli dan \bar{O} menyatakan bukan sumber gas asli, tanda \rightarrow sebagai penghubung logis untuk *biconditional*, N_D yaitu waktu deteksi gas selama proses berlangsung, n_D yaitu waktu dugaan gas yang berasal dari kemungkinan sumber untuk semua gas yang terdeteksi, sedangkan dua parameter N_{thr} dan ξ sebagai ambang batas yang digunakan dalam percobaan.

Aturan logikanya yaitu jika $N_D \geq N_{thr}$ dan $n_D / N_D \geq \xi$ dipenuhi selama gerakan mengelilingi benda sumber maka kemungkinan benda tersebut merupakan sumber, sebaliknya jika tidak memenuhi aturan tersebut maka bukan dinyatakan sumber. Percobaan dilakukan di lingkungan luar, dimana sumber gas etanol cair digunakan sebagai sampel sumber gas. *Mobile robot* ini direncanakan untuk bergerak mengelilingi benda selama tiga kali putaran dengan jari-jari lingkirannya sebesar 1.2 m dengan kondisi menjaga robot tetap dekat dengan benda. Dengan kata lain robot menjaga jarak 0.6 m terhadap benda. *Mobile robot* bergerak dengan kecepatan tetap 0.2 m/s. Pada aturan logika ada hubungannya antara n_D dengan *threshold* η , jadi nilai η mesti ditentukan terlebih dahulu. Nilai yang ditentukan oleh peneliti sebesar $\eta = 1 \times 10^{-8} \text{ mm}^{-2}$ dengan mengacu data percobaan hubungan antara *threshold* η dengan rasio n_D / N_D seperti pada Gambar 2.5. Terdapat dua kelompok pengujian, yang pertama digunakan untuk menentukan parameter N_{thr} dan ξ di dalam aturan logika, yang kedua digunakan untuk menguji aturan logika.

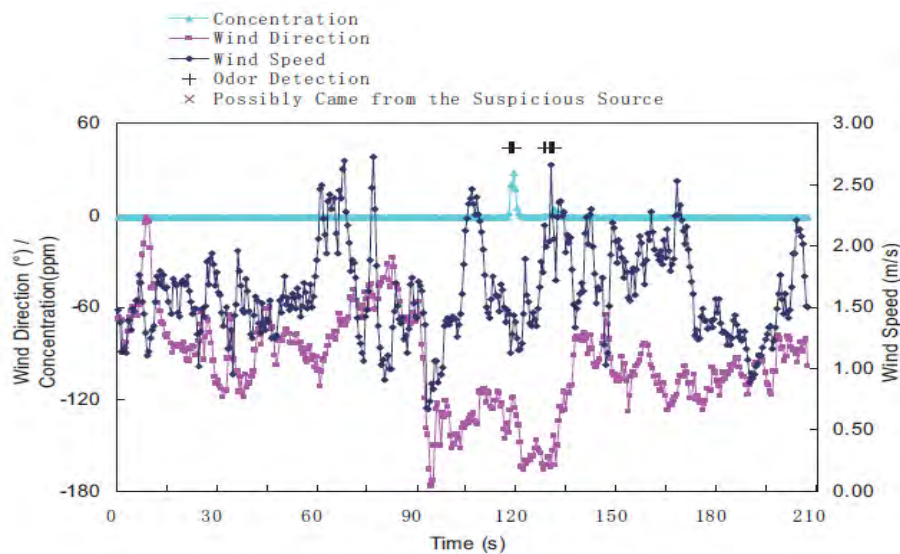


Gambar 2.5. Hubungan antara *threshold* η dengan rasio n_D / N_D (Li dkk, 2010).

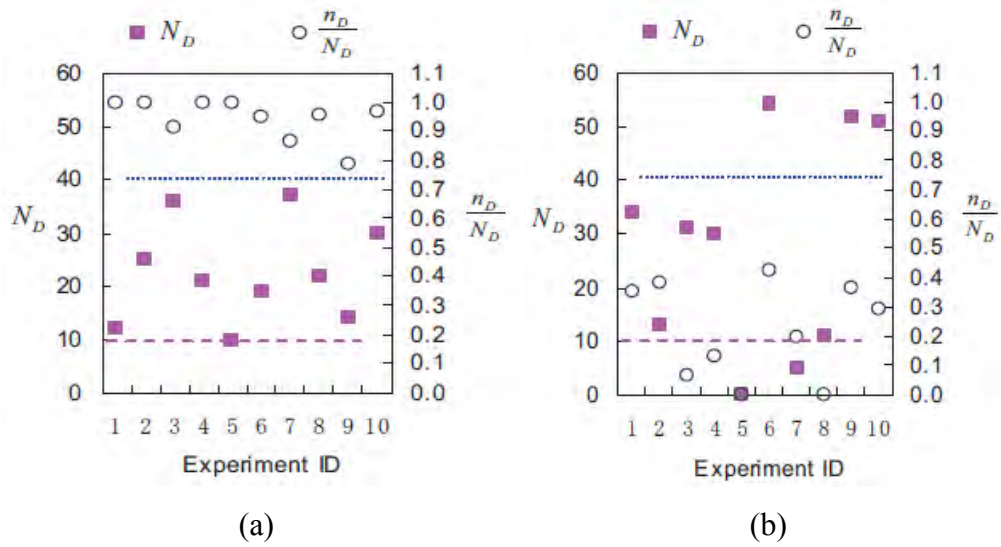


Gambar 2.6. Ilustrasi percobaan untuk kelompok pertama, (a) $t = 119.0$ s, (b) $t = 207.5$ s. (Li dkk, 2010).

Pada kelompok pertama, dilakukan sebanyak 20 percobaan diantaranya 10 untuk mengelilingi benda sumber gas dan 10 lagi untuk mengelilingi benda bukan sumber gas. Adapun dua ilustrasi yang dilakukan pada percobaan untuk kelompok pertama seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Informasi secara rinci serta arah dan kecepatan angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Ilustrasi dari hasil 20 percobaan pada kelompok pertama seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8, dimana grafik (a) dan (b) memberikan informasi terperinci mengenai N_D dan n_D / N_D selama mengelilingi benda sumber gas dan yang bukan sumber gas.

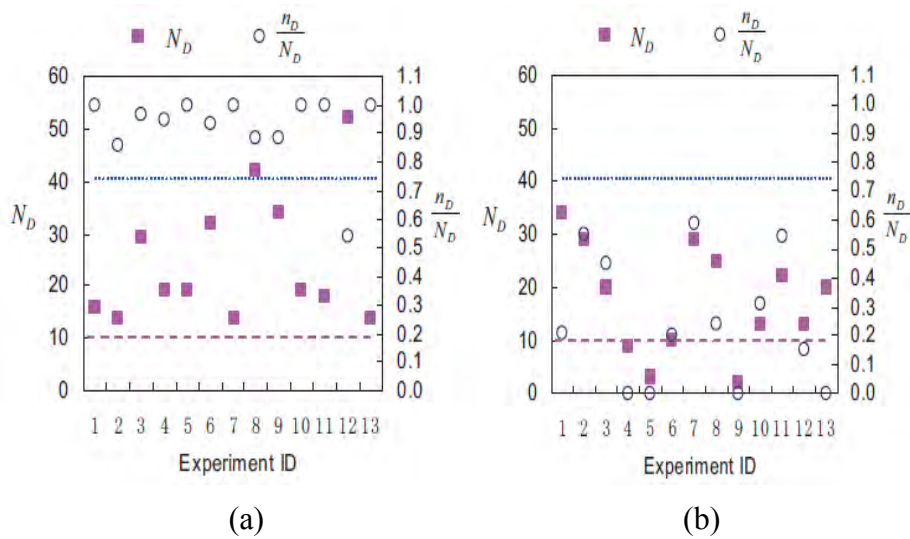


Gambar 2.7. Informasi secara rinci serta arah dan kecepatan angin selama dilakukan percobaan. (Li dkk, 2010).



Gambar 2.8. Ilustrasi dari hasil 20 percobaan pada kelompok pertama, (a) mengelilingi benda sumber gas, (b) bukan sumber gas. (Li dkk, 2010).

Pada kelompok kedua *mobile robot* diuji untuk mengetahui kemampuan dari aturan logika, percobaan dilakukan sebanyak 26 kali, 13 kali percobaan dilakukan untuk mengelilingi benda sumber gas dan setengahnya lagi mengelilingi benda bukan sumber gas. Sehingga didapat informasi yang rinci mengenai N_D dan n_D/N_D seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Hasilnya menyatakan sebanyak 25 data percobaan dinyatakan sukses dan satu gagal.



Gambar 2.9. Ilustrasi dari hasil 26 percobaan pada kelompok kedua, (a) mengelilingi benda sumber gas, (b) bukan sumber gas. (Li dkk, 2010).

2.3 Olfactory Mobile Robot Untuk Melokalisasi Sumber Gas.

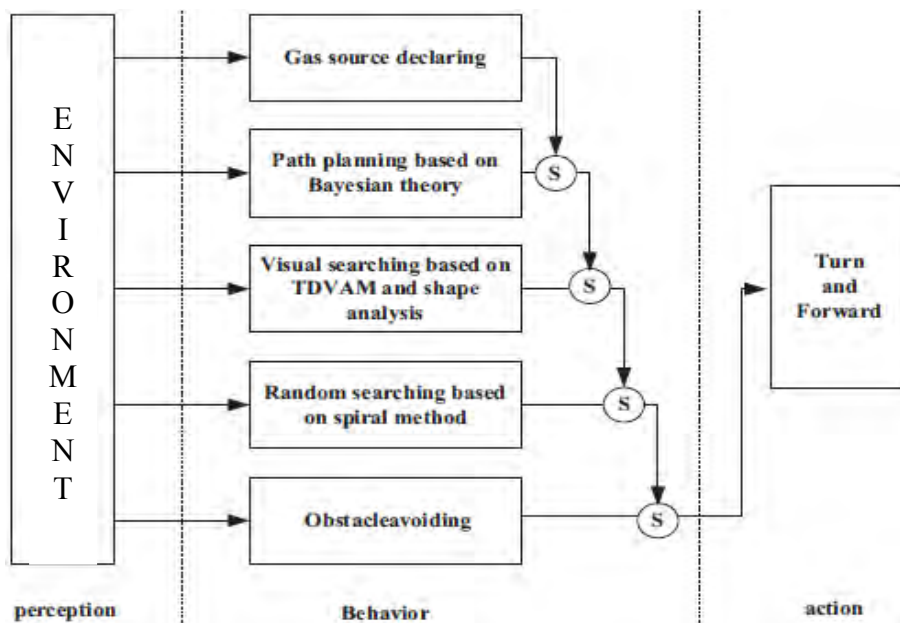
Jiang dkk (2014) merancang *mobile robot* dengan memanfaatkan strategi berbasis prilaku untuk memperoleh informasi terhadap dugaan sumber gas. Peneliti melakukan penelitiannya bertujuan untuk memberikan suatu pencapaian dugaan kuat terdeteksinya gas di dalam lingkungan yang kompleks berdasarkan optimasi strategi secara adaptive yang diusulkan dengan memanfaatkan multi sensor. *Mobile robot* ini dilengkapi dengan beberapa sensor diantaranya; sensor laser (LMS200), sensor vision (kamera PTZ), sensor gas (MIC-5135), sensor angin (*windsonic*) dan kompas elektronik. Oleh karena itu, untuk memanfaatkan multi sensor tersebut maka dirancang lima strategi pencarian berbasis prilaku dalam menyelesaikan tugas lokalisasi sumber gas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.

a) Prilaku menghindari halangan.

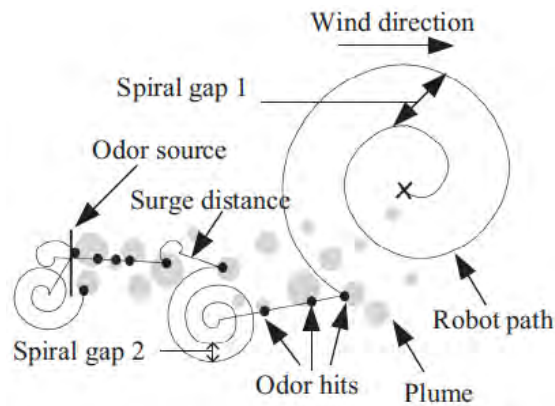
Prilaku ini akan menghindari adanya benda atau rintangan jika jarak dekat terdeteksi oleh sensor laser supaya tidak bersentuhan.

b) Prilaku pencarian acak.

Prilaku ini membuat *mobile robot* untuk selalu bergerak bebas di dalam ruangan dengan tujuan supaya terdeteksi aroma gas. Prilaku ini juga dikombinasikan dengan prilaku penghindar halangan. Ketika sensor gas



Gambar 2.10. Struktur strategi pencarian berbasis prilaku. (Jiang dkk, 2014).



Gambar 2.11. Algoritma *spiral surge*. (Jiang dkk, 2014).

mendeteksi adanya konsentrasi gas atau sensor vision menemukan target benda yang diduga sumber maka pencarian acak pada robot akan dihentikan. Untuk melengkapi pencarian acak maka digunakanlah algoritma *spiral surge* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.

c) Prilaku pencarian menggunakan vision.

Prilaku ini memiliki prioritas yang lebih tinggi dibanding prilaku acak. Maksudnya, ketika adanya benda mencurigakan yang terdeteksi oleh sensor vision maka lebih diutamakan, sehingga langsung diproses menggunakan metode *Top-Down Visual Attention Mechanism* (TDVAM) dan *Shape Analysis* (SA) untuk mengetahui target benda yang masuk akal.

d) Prilaku perencanaan jalur.

Prilaku ini untuk menentukan target berikutnya. Ketika target bukan merupakan sumber maka *mobile robot* menginspeksi area yang terdapat benda berikutnya. Sehingga perlu dioptimalkan informasi yang diperoleh dari multi sensor menggunakan metode estimasi *Bayesian*. Nantinya *mobile robot* ini dipandu menuju target berdasarkan probabilitas dari informasi sensor terkait sumber gas.

e) Prilaku deklarasi sumber gas.

Prilaku ini memiliki prioritas paling tinggi dari keseluruhan prilaku. Target dinyatakan sumber gas pada saat konsentrasi gas terdeteksi terus menerus secara meningkat dan gerak *mobile robot* disekitar area target tersebut.

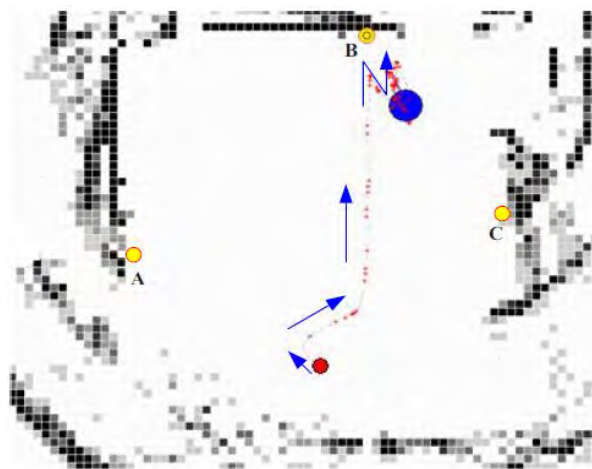


(a)

(b)

Gambar 2.12. (a) Platform *mobile robot*, (b) sumber gas. (Jiang dkk, 2014).

Platform *mobile robot* yang digunakan untuk melokalisasi sumber gas ditunjukkan pada Gambar 2.12. Pada percobaannya telah diperlihatkan hasil pencarian menggunakan *mobile robot* dari proses lokalisasi secara keseluruhan seperti pada Gambar 2.13. Tampak robot bergerak dari posisi awal titik merah menuju area yang ditargetkan masuk akal (titik A, B dan C), dimana titik B sebagai target sumber asli. Pergerakan robot disesuaikan berdasarkan informasi dari pembacaan multi sensor. Hasilnya pencarian target sumber gas dengan berbasis perilaku dapat dicapai secara efisien, dan metode yang diusulkan oleh peneliti memiliki keunggulan untuk diterapkan pada *mobile robot*.



Gambar 2.13. Hasil pencarian dari proses lokalisasi keseluruhan. (Jiang dkk, 2014).

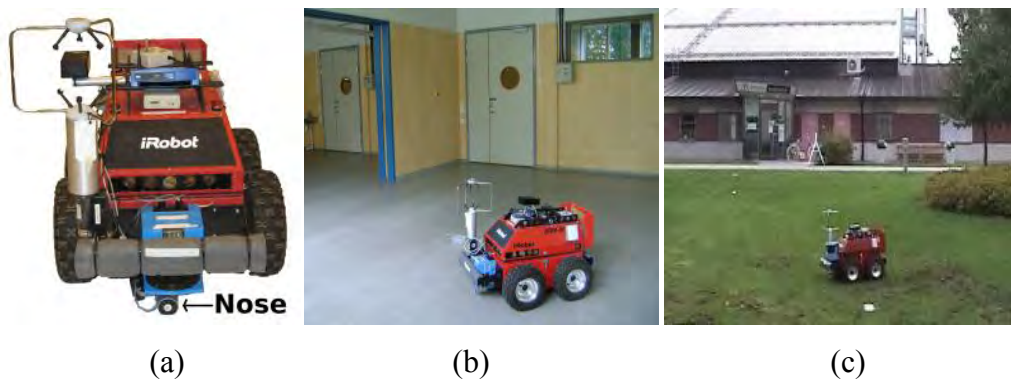
2.4 Olfactory Mobile Robot Untuk Mengidentifikasi Sumber Gas

Trincavelli dkk (2010) merancang sebuah *mobile robot* yang dapat mengidentifikasi jenis gas berdasarkan pemilihan fitur dari sinyal sensor yang mencirikan suatu gas tertentu. Peneliti menggunakan pendekatan *filter* dan *wrapper* dari keteraturan ekstraksi fitur terhadap keluaran sinyal sensor dengan perbedaan yang kecil. *Mobile robot* dilengkapi dengan lima deret sensor gas yang dipasang di bagian depan. Deret sensor gas untuk membentuk *e-nose* pada robot menggunakan sensor oxide metal jenis TGS seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. *Mobile robot* tersebut telah ditanamkan komputasi algoritma handal untuk mengoptimasi tugas-tugas yang akan dikerjakan. Gambar 2.14 menunjukkan *mobile robot* lengkap beserta tempat percobaan di lokasi yang berbeda. Komputasi dalam hal pengenalan pola yang dilakukan oleh peneliti mempertimbangkan substraksi dasar, segmentasi sinyal, ekstraksi fitur, seleksi fitur dan klasifikasi.

Tabel 2.1. Sensor gas pembentuk *e-nose*.

No	Model	Gases Detected	Quantity
1	TGS 2600	Hydrogen, Carbon Monoxide	2
2	TGS 2602	Ammonia, Hydrogen Sulfide, VOC (<i>Volatile Organic Compound</i>)	1
3	TGS 2611	Methane	1
4	TGS 2620	Organic Solvents	1

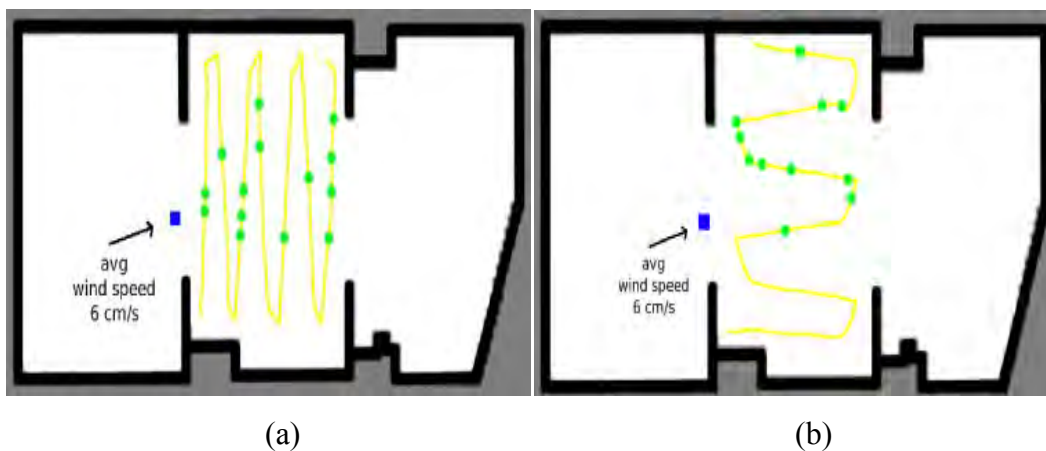
Sumber : Trincavelli dkk, 2010.



Gambar 2.14. *Mobile robot* lengkap beserta lokasi percobaan, (a) *mobile robot* dengan *e-nose* dan anemometer, (b) *indoor*, (c) *outdoor*. (Trincavelli dkk, 2010).

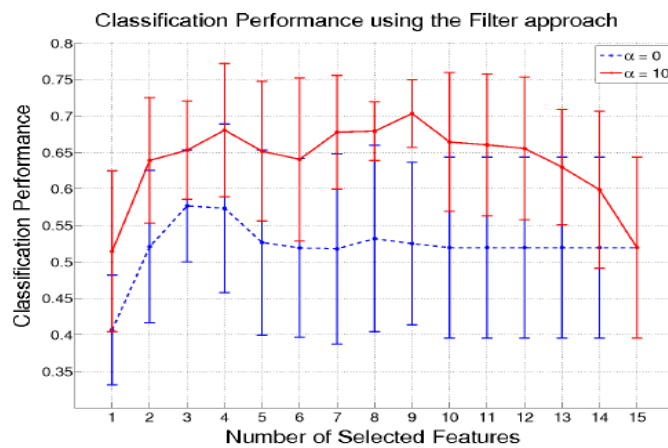
Sinyal yang diperoleh lalu di-*filter* untuk menghasilkan sinyal *smooth*, sinyal tersebut dibagi menjadi tiga bagian yaitu dasar, naik dan meluruh. Sinyal keluaran tidak pernah didapatkan dalam bentuk respon *steady state* selama percobaan yang dilakukan oleh peneliti. Fitur-fitur dari hasil ekstraksi dan seleksi diubah kebentuk fitur ber-dimensi sehingga dapat diklasifikasi menggunakan teknik *Support Vector Machine (SVM) one vs one* dengan gaussian kernel untuk kasus tiga kelas.

Pada percobaannya dilakukan pada tiga lokasi berbeda, dimana komputasinya menggunakan empat strategi pergerakan dengan kecepatan 0.05 m/s. Sumber gas berupa target sebuah cangkir berisi cairan gas (etanol, aseton dan isopropil) yang diletakan di lantai, dimana percobaannya telah dilakukan lebih dari 100 kali. Pada lokasi pertama yaitu dalam ruangan besar, *mobile robot* bergerak secara acak ortogonal dan mengumpulkan informasi yang didapat. Pada lokasi kedua yaitu dalam ruangan kelas yang kecil, *mobile robot* bergerak secara acak tanpa henti dan juga mengumpulkan informasi. Ketika gas terdeteksi *mobile robot* berhenti dan meyakinkan informasi yang diperoleh sampai dilakukannya klasifikasi pada gas tersebut. Adapun representasi pergerakan *mobile robot* dalam mencari informasi sumber gas selama perjalanannya seperti ditunjukan pada Gambar 2.15. Berdasarkan Gambar 2.15, terlihat garis kuning sebagai trajektori robot, tanda panah sebagai arah kecepatan angin, dan titik hijau sebagai tempat diperolehnya informasi dari respon sensor gas.

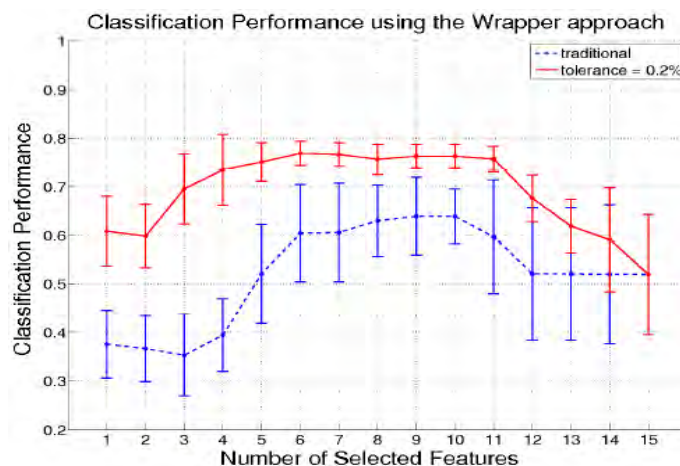


Gambar 2.15. Pergerakan *mobile robot*, (a) trajektori mencari sumber gas isopropyl, (b) trajektori mencari sumber gas etanol. (Trincavelli dkk, 2010).

Pada lokasi ketiga dilakukan di halaman berumput, dalam hal ini *mobile robot* juga melakukan hal yang sama dengan pergerakannya yang acak (spiral) untuk memperoleh informasi sumber gas. Hasilnya menunjukkan bahwa algoritma yang diterapkan pada *mobile robot* dapat menganalisis dan klasifikasi jenis gas dengan baik pada percobaan yang dilakukan. Gambar 2.16 menunjukkan performa klasifikasi dari fitur yang diperoleh berdasarkan pendekatan *filter*. Sedangkan pada Gambar 2.17 ditunjukkan performa klasifikasi dengan menggunakan pendekatan *wrapper*.



Gambar 2.16. Performa klasifikasi berdasarkan pendekatan *filter*. (Trincavelli dkk, 2010).

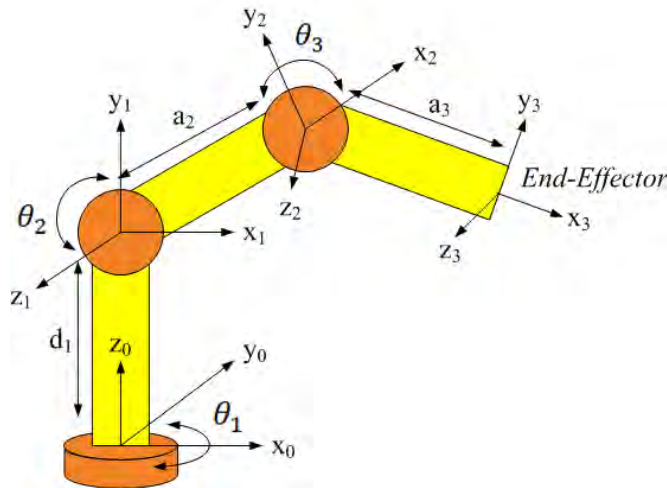


Gambar 2.17. Performa klasifikasi berdasarkan pendekatan *wrapper*. (Trincavelli dkk, 2010).

2.5 Lengan Robot

Lengan robot disebut juga sebagai robot manipulator, robot yang berbentuk lengan (*link*) berbentuk tetap namun dapat digerakan. Lengan robot terdapat aktuator sebagai sendi berupa motor servo untuk menggerakkan lengan tersebut (Lidkk, 2012). Peralatan atau sensor pendeteksi yang terdapat pada ujung lengan robot biasanya berkaitan dengan fungsi dari lengan robot tersebut untuk mencapai tujuan yang dikehendaki (Khare dkk, 2007). Gambar 2.18 menunjukan bentuk lengan robot tiga derajat kebebasan (DOF). Berdasarkan Gambar 2.18 didapatkan perumusan *forward kinematic* menggunakan metode Denavit-Hartenberg (Khare dkk, 2007). Tabel 2.2 menunjukan DH parameter dari lengan robot dengan tiga derajat kebebasan. Transformasi dari DH parameter seperti pada Persamaan (2.2),

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$



Gambar 2.18. Bentuk lengan robot tiga derajat kebebasan.

Tabel 2.2. DH parameter lengan robot 3 DOF manipulator.

$joint_i$	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	$\pi/2$	0	d_1	θ_1
2	0	a_2	0	θ_2
3	0	a_3	0	θ_3

dari Persamaan (2.2) maka didapatkan hasil 3 matrik A seperti Persamaan (2.3), (2.4) dan (2.5).

$${}^0A_1 = \begin{vmatrix} C\theta_1 & 0 & S\theta_1 & 0 \\ S\theta_1 & 0 & -C\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.3)$$

$${}^1A_2 = \begin{vmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & a_2C\theta_2 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & a_2S\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.4)$$

$${}^2A_3 = \begin{vmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & a_3C\theta_{23} \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & a_3S\theta_{23} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

Dengan mengalikan tiga bentuk matrik A dari Persamaan (2.3), (2.4) dan (2.5) kedalam bentuk ${}^0\hat{Q} = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3Q$, untuk ${}^3Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$, menjadi matrik \hat{Q} seperti pada Persamaan (2.6),

$${}^0\hat{Q} = \begin{vmatrix} C\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23}) \\ S\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23}) \\ d_1 + a_2S\theta_2 + a_3S\theta_{23} \\ 1 \end{vmatrix} \quad (2.6)$$

sehingga menjadi perumusan *forward kinematic* seperti pada Persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9).

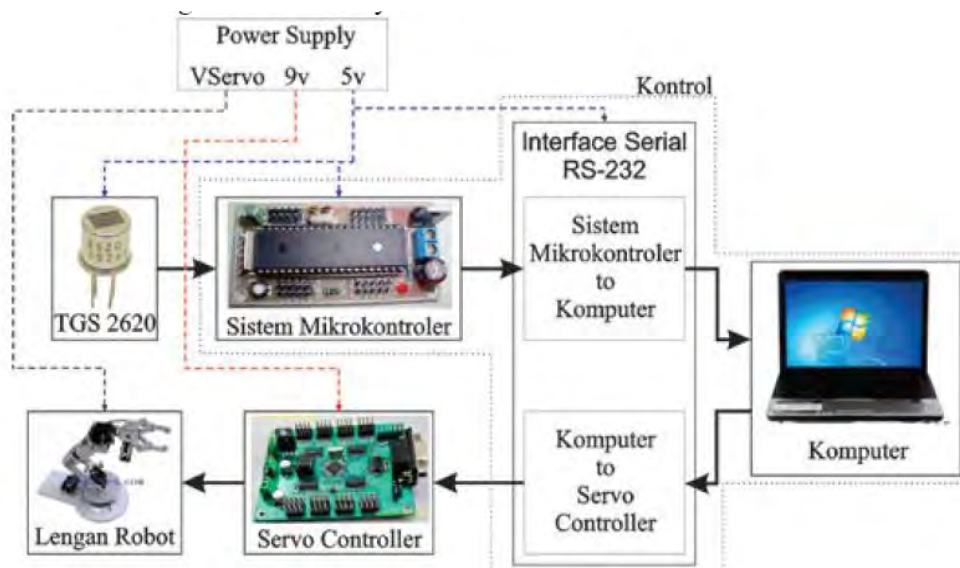
$$q_x = C\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23}) \quad (2.7)$$

$$q_y = S\theta_1(a_2C\theta_2 + a_3C\theta_{23}) \quad (2.8)$$

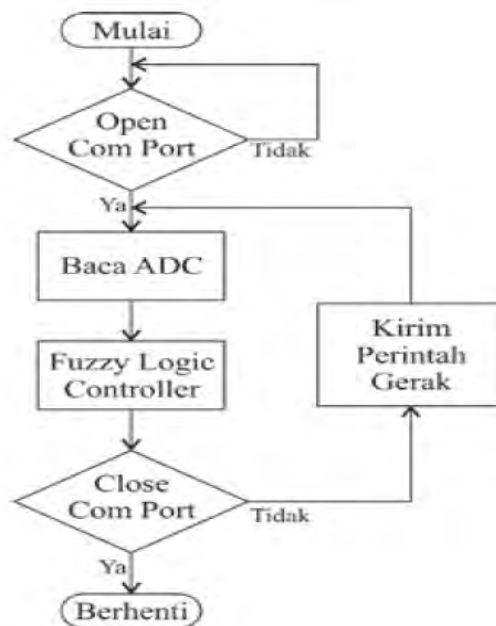
$$q_z = d_1 + a_2S\theta_2 + a_3S\theta_{23} \quad (2.9)$$

Berdasarkan Persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9) diketahui bahwa nilai sudut pada masing-masing servo yang membentuk sudut θ_1 , θ_2 dan θ_3 akan menentukan posisi ujung lengan robot terhadap koordinat sumbu x, y dan z.

Penelitian tentang lengan robot dalam menentukan nilai sudut untuk menggerakkan lengan pernah dilakukan oleh Gustica dkk (2014). Dimana penelitiannya mengintegrasikan sensor gas pada ujung lengan untuk mencari posisi sumber gas yang terdekat. Adapun diagram blok sistem lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19. Lengan robot bergerak kearah sumber gas dengan bantuan sensor gas, sensor dipasang di bagian kiri dan kanan pada ujung lengannya, arah pergerakan lengan robot dirancang untuk bergerak ke kiri atau ke kanan. Pergerakan lengan robot menggunakan motor servo yang dikontrol dengan teknik logika *fuzzy*. Gambar 2.20 memperlihatkan perancangan perangkat lunak untuk pergerakan lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas. Program logika *fuzzy* dibuat di dalam komputer dan pengiriman datanya melalui komunikasi serial RS232. Hasilnya, lengan robot dapat mengikuti arah sumber gas dengan tingkat keberhasilan maksimal pada *set point* yang ditentukan berkisar pada posisi 90° . Apabila sumber gas jauh dari keadaan *set point*, maka tingkat keberhasilannya kecil. Penelitian yang dilakukan oleh Gustica dkk (2014) hanya pergerakan lengan robot satu derajat kebebasan sehingga perlu ditambahkan pergerakan lengan robot dua atau tiga derajat kebebasan untuk bergerak ke atas dan ke bawah.



Gambar 2.19. Diagram blok sistem lengan robot yang terintegrasi dengan sensor gas (Gustica dkk, 2014).

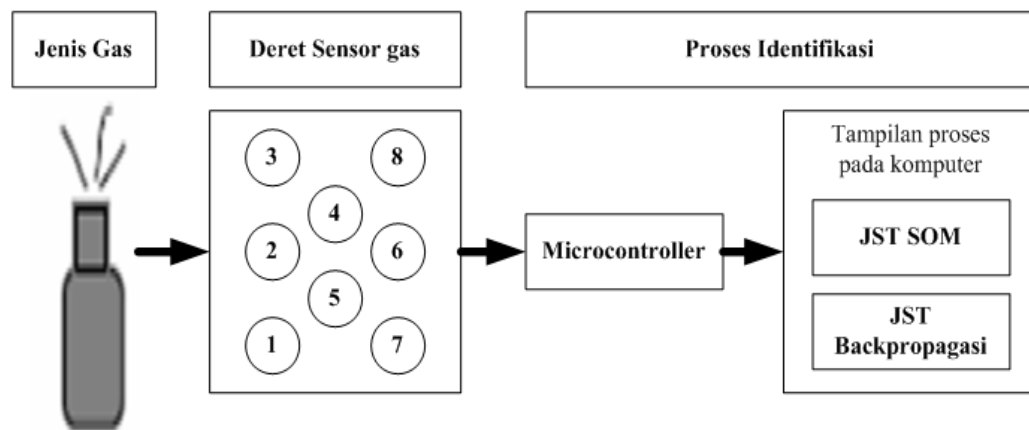


Gambar 2.20. Perancangan perangkat lunak untuk pergerakan lengan robot (Gustica dkk, 2014)

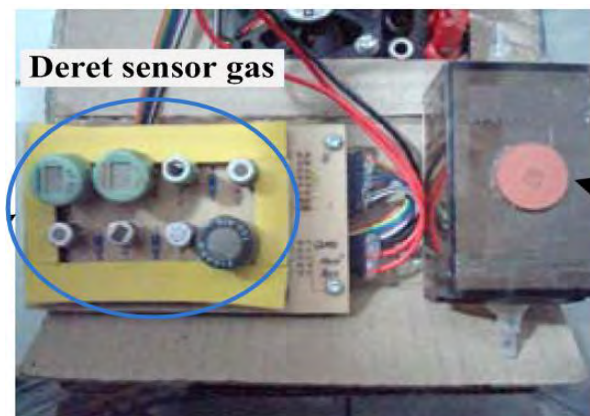
2.6 *Electronic Nose*

Electronic nose (disingkat *e-nose*) merupakan sistem penciuman elektronik seperti menirukan prinsip kerja dari indra penciuman manusia untuk mengetahui adanya gas bahkan mengenali berbagai jenis gas (Chowdhury dkk, 2008; Frianto dan Rivai, 2008). *E-nose* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, salah satunya dalam bidang robotika seperti identifikasi jenis gas. *E-nose* terdiri dari beberapa sensor gas (lebih dari satu sensor) yang disusun secara berderet (Frianto dan Rivai, 2008; Hasan dkk, 2012). *E-nose* dapat diterapkan pada *mobile robot* untuk mengenali jenis gas dengan cara didekatkan pada sumber.

Penelitian tentang *e-nose* pernah dilakukan oleh Frianto dan Rivai (2008). Frianto dan Rivai (2008) membuat sistem *electronic nose* untuk identifikasi jenis gas. *E-nose* terdiri dari beberapa deretan sensor gas semikonduktor jenis oxide metal. Sensor gas yang digunakannya sebanyak delapan buah sensor yang membentuk deretan sensor. Adapun diagram blok sistem *e-nose* untuk identifikasi gas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.21. Respon keluaran sinyal dari masing-masing sensor gas akan dikonversi ke bentuk digital untuk diproses di dalam komputer. Respon sinyal tersebut membentuk pola untuk setiap jenis gas yang dilatih oleh teknik Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagasi dan *Self Organizing*



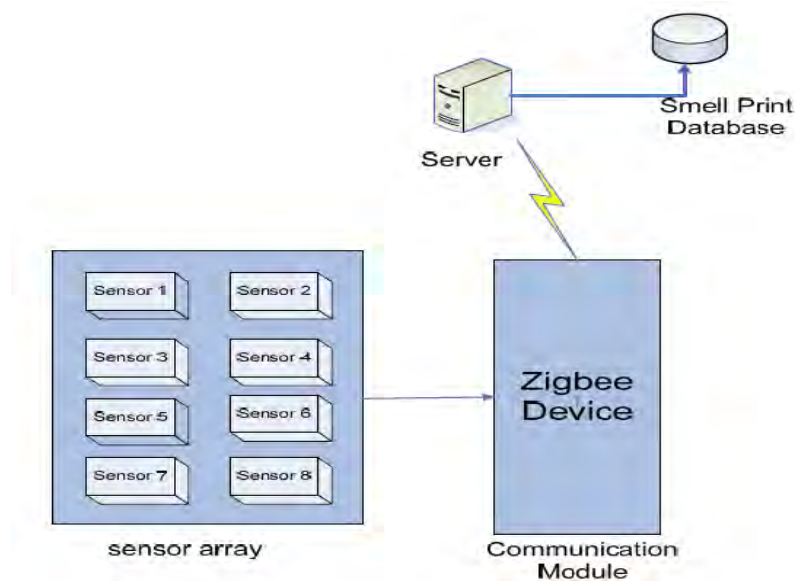
Gambar 2.21. Diagram blok sistem *e-nose* untuk identifikasi gas (Frianto dan Rivai, 2008)



Gambar 2.22. Hasil realisasi sistem *e-nose* menggunakan deret sensor gas (Frianto dan Rivai, 2008)

Map (SOM). Setelah melakukan tahap pembelajaran maka sistem dapat memetakan keluaran untuk pengenalan setiap jenis gas. Pada pengujiannya sistem dapat mengenali jenis gas dengan tingkat akurasi pengenalannya sebesar 87.5%. Gambar 2.22 menunjukkan hasil realisasi sistem *e-nose* menggunakan deret sensor gas.

Di sisi lain, Hasan dkk (2012) juga membuat dan mengembangkan perangkat *electronic nose* untuk mengenali aroma daging. Daging tersebut berupa daging sapi dan ikan untuk dianalisa sehingga diketahui jenis daging yang segar atau busuk. *E-nose* yang dirancang menggunakan deretan sensor gas semikonduktor jenis oxide metal sebanyak delapan buah sensor. Gambar 2.23 menunjukkan sistem *monitoring* aroma daging berbasis *e-nose*. Masing-masing

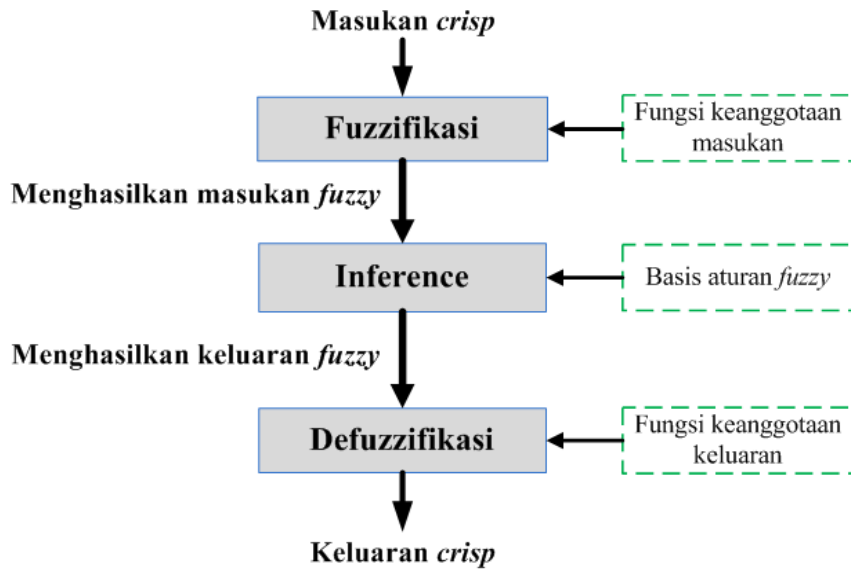


Gambar 2.23. Sistem *monitoring* aroma daging berbasis *e-nose* (Hasan dkk, 2012).

respon keluaran sensor gas dikirimkan ke komputer melalui komunikasi *wireless* menggunakan modul zigbee. *E-nose* mengidentifikasi aroma sampel daging sapi dan ikan segar maupun busuk menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Oleh karena itu untuk membusukan aroma kedua daging tersebut di diendapkan di dalam lemari selama seminggu. Hasilnya *e-nose* dapat mengenali pola aroma pada daging sapi dan ikan segar maupun busuk dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 94.5%.

2.7 Kendali Logika Fuzzy

Teori logika *fuzzy* yang terinspirasi oleh kemampuan seseorang untuk melakukan tindakan berdasarkan informasi dari pengalamannya (El-Teleity dkk, 2011). Logika *fuzzy* bekerja berdasarkan aturan linguistik dari suatu penalaran dan pengambilan keputusan terhadap informasi yang belum pasti, aturan ini dirancang oleh seorang berpengalaman agar dapat mengendalikan sistem otomatis (Fatmi dkk, 2006). Gambar 2.24 menunjukkan diagram blok kendali logika *fuzzy*. Sistem logika *fuzzy* yang diterapkan pada *mobile robot* bertujuan untuk membuat *mobile robot* tersebut bisa bernavigasi atau bergerak sendiri pada lingkungan sekitarnya sehingga disebutlah robot bergerak otonom (El-Teleity dkk, 2011).



Gambar 2.24. Diagram blok kendali logika *fuzzy*.

Pada kendali logika *fuzzy* memiliki beberapa tahapan penyelesaian, yaitu tahap fuzzifikasi, basisi aturan dan inferensi, dan defuzzifikasi (Fahmizal dan Kuo, 2013; Farooq dkk, 2010). Tahap fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah masukan yang bernilai *crisp* menjadi nilai masukan *fuzzy* dari fungsi keanggotaannya yang ditentukan (Fahmizal dan Kuo, 2013). Tahap basis aturan berisi aturan logika yang telah ditetapkan dalam pengendalian sistem. Aturan logika ini kemudian digunakan untuk menghubungkan antara variabel masukan dengan variabel keluaran. Aturan logika ini berbentuk “**Jika-Maka**” menurut Persamaan (2.10).

$$\text{If } X_1 \text{ is } A_1 \text{ and } \dots \text{ and } X_n \text{ is } A_n, \text{ then } Y \text{ is } B \quad (2.10)$$

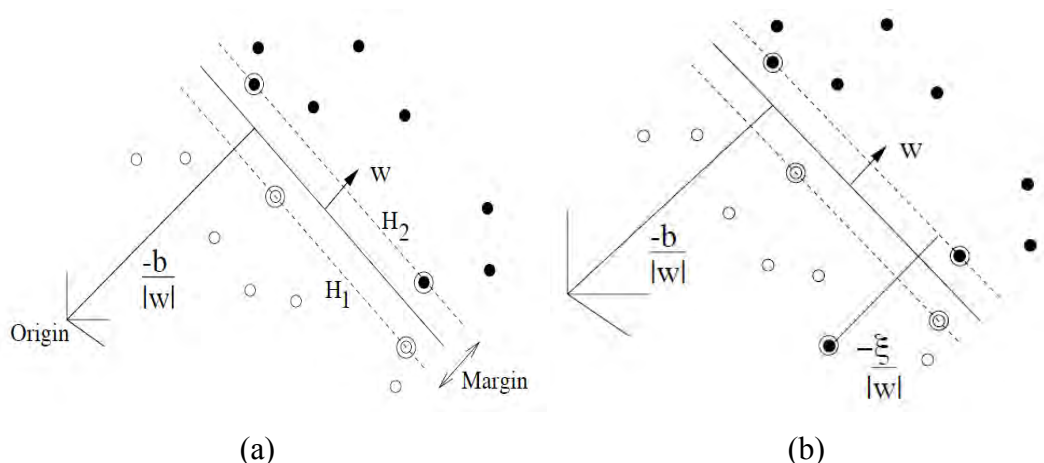
Berdasarkan basis aturan yang telah ditetapkan maka variabel masukan *fuzzy* diproses lebih lanjut untuk mendapatkan variabel keluaran *fuzzy*. Keluaran *fuzzy* tersebut berkorelasi dengan himpunan fungsi keanggotaan keluaran yang juga ditetapkan. Supaya didapatkan keluaran *fuzzy* yang tepat maka digunakanlah metode pengambilan keputusan berupa mekanisme Max dan Min, metode ini diusulkan oleh Fahmizal dan Kuo (2013) yang diekpresikan pada Persamaan (2.11).

$$\mu_B(y) = \max \left[\min \left[\mu_{A_1}(\text{input}(i)), \mu_{A_2}(\text{input}(j)), \dots \right] \right] \quad (2.11)$$

Tahap defuzzifikasi merupakan sebagai proses untuk mengubah nilai keluaran *fuzzy* dalam bentuk fungsi keanggotaan yang ditetapkan supaya mendapatkan kembali nilai *crisp*. Hal ini diperlukan karena dalam aplikasi yang sebenarnya diperlukan nilai *crisp*. Fungsi keanggotaan pada logika *fuzzy* model Sugeno menggunakan satu dimensi (*singleton*). Oleh karena itu, digunakan metode *Center of Area* (CoA) agar menghasilkan perhitungan yang tepat (Farooq dkk, 2010).

2.8 Pengenalan Pola *Support Vector Machine*

Salah satu metode yang paling banyak mendapat perhatian dalam bidang pengenalan pola yaitu *support vector machine* disingkat SVM (Byun dan Lee, 2003). SVM merupakan pembelajaran yang didasari pada teori statistik yang dikombinasikan dengan teori-teori belajar yang telah ada seperti konsep *kernel trick*, teori umum, metode optimasi, dan lain sebagainya (Jiang dkk, 2008). SVM mampu mengklasifikasi data secara *linear* maupun *non-linear*, dimana teknik ini selalu berusaha untuk mencari bidang pemisah terbaik atau dikenal dengan istilah *hyperplane* untuk memisahkan data sesuai kelas yang ditentukan (Burges, 1998; Wang dkk, 2005). Salah satu contoh bidang *hyperplane* untuk kasus dua kelas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25. Bidang pemisah *hyperplane* untuk kasus dua kelas, (a) kasus *linear*, (b) kasus *non-linear*. (Burges, 1998; Byun dan Lee, 2003).

Berdasarkan Gambar 2.25 terlihat data yang paling dekat dengan bidang pembatas *hyperlane* disebut dengan *support vector*. Pada penelitian ini, sistem *e-nose* untuk identifikasi jenis gas menggunakan teknik SVM. Adapun para peneliti seperti Burges (1998) dan Jiang dkk (2008) menguraikan alur dalam pemecahan masalah untuk mencari bidang *hyperplane* dari pembelajaran metode SVM sebagai berikut :

Mencari klasifikasi untuk dua kelas atau lebih dari data pelatihan, seperti ekspresi pada Persamaan (2.12),

$$D = \{(x_1, y_2), \dots, (x_l, y_l)\}, x \in R^n, y \in \{-1, 1\} \quad (2.12)$$

dimana l banyaknya data.

Dari *hyperplane* tersebut nantinya dapat diasumsikan menjadi data kelas positif dan negatif yang terpisah secara sempurna dan membuat jarak dari kelas-kelas data tersebut. Dimana *point* x yang berada pada *hyperplane* memenuhi $(w, x) + b = 0$. Untuk menormalkan fungsi *hyperplane* dan membiarkan semua data memenuhi semua batasan kondisi seperti pada Persamaan (2.13).

$$y_i[(w, x_i) + b] \geq 1, i = 1, \dots, l \quad (2.13)$$

Margin terbesar ditemukan dengan memaksimalkan jarak yang tegak lurus dari *hyperplane* terhadap titik asal yaitu $2/\|w\|$, dan interval terbesar sama dengan membuat $\|w\|^2$ minimum. Oleh karena itu, untuk menemukan *hyperplane* sebagai pemisah yang tepat dan secara optimal dapat diubah kedalam bentuk *quadratic programming* pada Persamaan (2.14).

$$\begin{aligned} \min \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{Subject to: } y_i[(w, x_i) + b] \geq 1, \\ i = 1, \dots, l \end{aligned} \quad (2.14)$$

Pada Persamaan (2.14) dilakukan perhitungan menggunakan fungsi *Lagrange* menjadi Persamaan (2.15),

$$\mathcal{O}(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (y_i[(w, x_i) + b] - 1) \quad (2.15)$$

Nilai α merupakan *lagrange multiplier*, dan supaya penyelesaian optimal dapat diperoleh dengan mengubah proses perhitungan kebentuk ganda dari Persamaan (2.15) menjadi Persamaan (2.16).

$$\begin{aligned} \max_{\alpha} \quad & \sum_{k=1}^l \alpha_k - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^l \alpha_i \alpha_j y_i y_j K \langle x_i, x_j \rangle \\ \text{Subject to:} \quad & \sum_{i=1}^l \alpha_i y_i = 0 \\ & 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, l \end{aligned} \quad (2.16)$$

Dalam kasus data *non-linear* maka fungsi $K \langle x_i, x_j \rangle$ diselesaikan dengan memanfaatkan fungsi kernel seperti *polynomial*, *gaussian*, *radial basis function*, dan *multi-layer perceptron* (Byun dan Lee, 2003; Wang dkk, 2005). Penyelesaian optimal yang telah diperoleh menjadi Persamaan (2.17).

$$\alpha^* = (\alpha_1, \dots, \alpha_l)^T \quad (2.17)$$

Di sisi lain, Vijayakumar dan Wu (1999) mengusulkan algoritma pembelajaran SVM dengan metode *sequential* untuk proses klasifikasi. Algoritma ini akan menghasilkan nilai lagrange α yang optimal untuk data yang diklasifikasi, dimana data tersebut sebelumnya diubah kebentuk fitur dimensi yang lebih tinggi menggunakan fungsi kernel. Adapun tahapan algoritma yang dikembangkan dengan mengacu pada Persamaan (2.16), berikut langkah pembelajaran :

1. Menginisialisasi nilai $\alpha_i = 0$
2. Menghitung matrik :

$$\begin{aligned} D_{ij} &= y_i y_j (K(x_i, x_j) + \lambda^2) \\ \text{untuk: } i, j &= 1, \dots, l \\ l &: \text{banyaknya data} \end{aligned} \quad (2.18)$$

2. Untuk tiap-tiap pola yang akan diklasifikasi lakukan langkah a, b dan c untuk data $i = 1, \dots, l$

$$\text{a. } E_i = \sum_{j=1}^l \alpha_j D_{ij} \quad (2.19)$$

$$b. \quad \delta\alpha_i = \min \left\{ \max \left[\gamma(1 - E_i), -\alpha_i \right], C - \alpha_i \right\} \quad (2.20)$$

$$c. \quad \alpha_i = \alpha_i + \delta\alpha_i \quad (2.21)$$

3. Jika training sudah konvergen, maka hentikan proses training. Namun, jika belum mencapai konvergen lakukan kembali proses langkah 3(a), (b) dan (c) sampai mencapai konvergen.

Pada algoritma ini, parameter λ sebagai konstanta dan parameter γ sebagai *learning rate*. Konvergensi dapat diketahui dengan memantau tingkat perubahan nilai *update* pada $\delta\alpha_i$. Setelah didapatkan semua nilai α maka fungsi pengambilan keputusan diperoleh melalui perhitungan pada Persamaan (2.22) yang diusulkan oleh Vijayakumar dan Wu (1999),

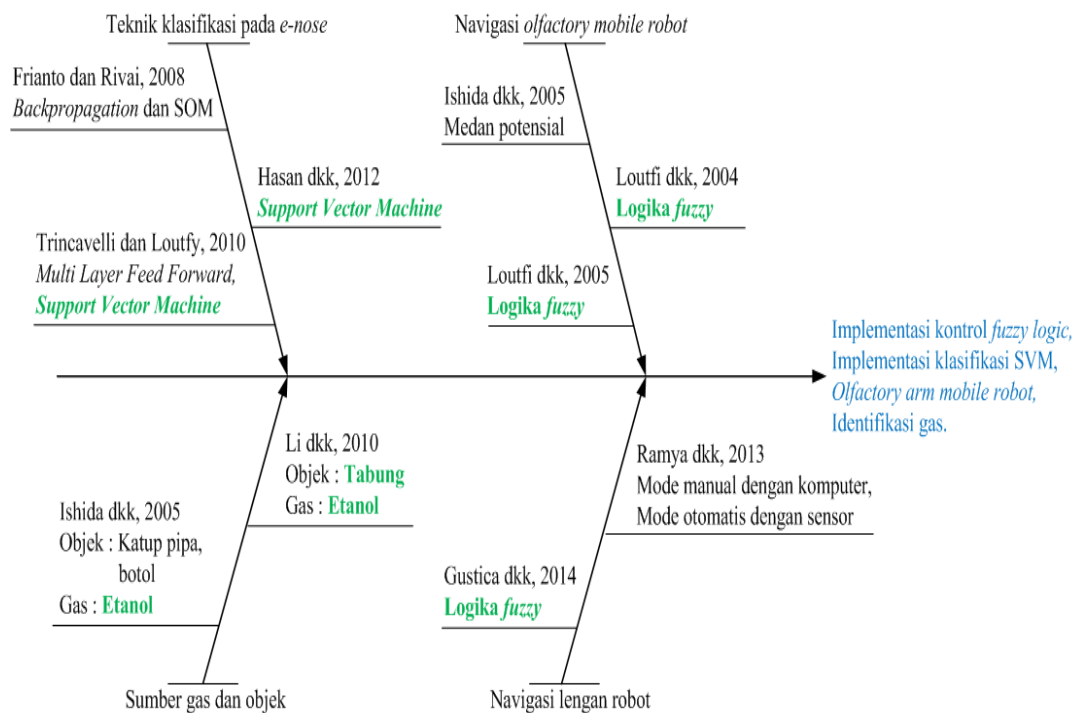
$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i \in SV} \alpha_i y_i K(x_i, x) + \alpha_i y_i \lambda^2 \right) \quad (2.22)$$

dimana α_i sebagai nilai *support vector*, x_i untuk data yang berkorelasi dengan *support vector*, x untuk sampel data pengujian, y_i sebagai target kelas dan λ sebagai konstanta.

Untuk kasus klasifikasi lebih dari dua kelas maka dapat digunakan metode *one vs others* seperti yang diusulkan oleh Byun dan Lee (2003).

2.9 Diagram Fishbone

Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti maka penulis mengelompokkan referensi relevan yang mengarah pada penelitian ini, sehingga membentuk diagram *fishbone*. Diagram *fishbone* yang dibentuk dari beberapa penelitian sehingga mengarah pada topik penelitian penulis seperti ditunjukan pada Gambar 2.26. Terdapat kelompok referensi dalam diagram *fishbone* yaitu teknik klasifikasi pada *e-nose*, navigasi *mobile robot*, navigasi lengan robot dan benda sumber gas yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, diusulkan kendali logika *fuzzy* untuk navigasi *mobile robot* dan lengan robot, dan pengenalan pola *support vector machine* untuk identifikasi gas berbasis *e-nose*.



Gambar 2.26. Diagram *fishbone* yang dibentuk dari beberapa penelitian sehingga mengarah pada topik penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

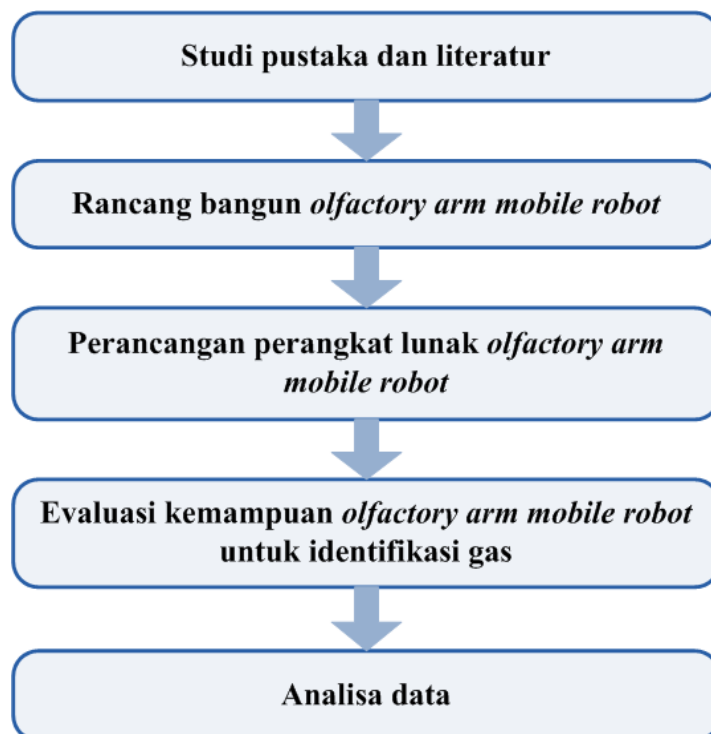
BAB 3

METODA PENELITIAN

Olfactory arm mobile robot memiliki beberapa sistem yang terintegrasi antara lain: *mobile robot*, lengan robot, *electronic nose*, dan komunikasi serial *wireless*. Untuk melakukan penelitian ini melalui beberapa tahapan penelitian sebagai berikut :

1. Studi pustaka dan literatur
2. Rancang bangun *olfactory arm mobile robot*
3. Perancangan perangkat lunak *olfactory arm mobile robot*
4. Evaluasi kemampuan *olfactory arm mobile robot* untuk identifikasi gas
5. Analisa data.

Adapun tahapan penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



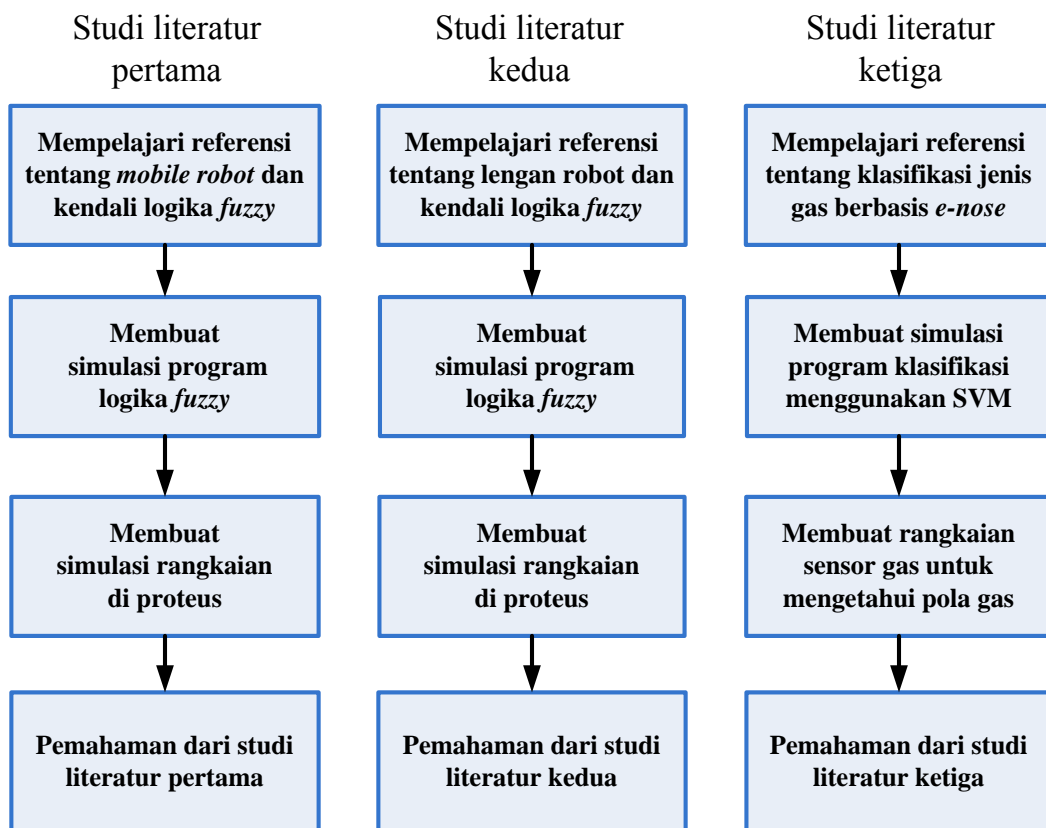
Gambar 3.1. Tahapan penelitian

3.1 Studi Pustaka dan Literatur

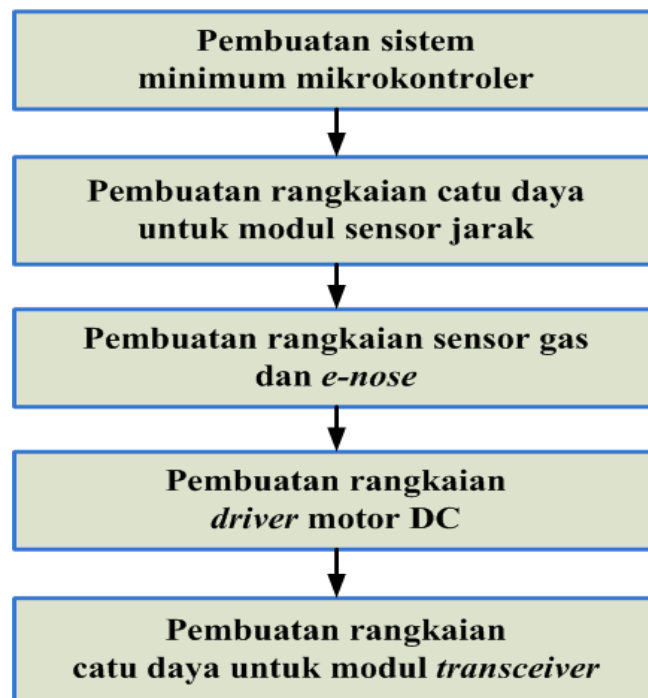
Pada tahapan ini penulis mencari dan mempelajari dari beberapa pustaka dan literatur yang relevan dengan penelitian yang dikerjakan. Seperti mempelajari dan membahas beberapa referensi dari *mobile robot*, lengan robot, klasifikasi jenis gas berbasis *e-nose*. Sehingga dapat dijadikan sebagai landasan berpikir dalam menyelesaikan penelitian ini serta bahan pendukung dalam pembuatan laporan penelitian ini. Gambar 3.2 menunjukkan ilustrasi studi pustaka dan literatur serta persiapan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

3.2 Rancang Bangun *Olfactory Arm Mobile Robot*

Pada tahapan ini dilakukan perancangan *olfactory arm mobile robot* yaitu *mobile robot*, lengan robot dan *e-nose* yang diintegrasikan. Tahapan perancangan *olfactory arm mobile robot* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Ketika seorang



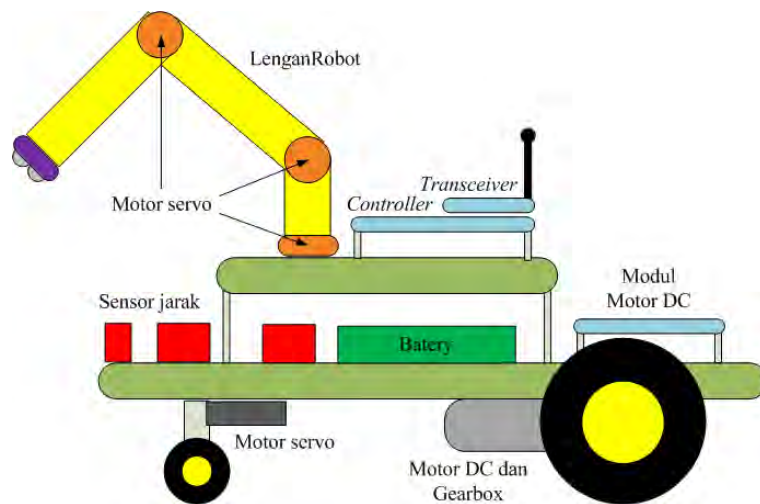
Gambar 3.2. Ilustrasi studi pustaka dan literatur serta persiapan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya



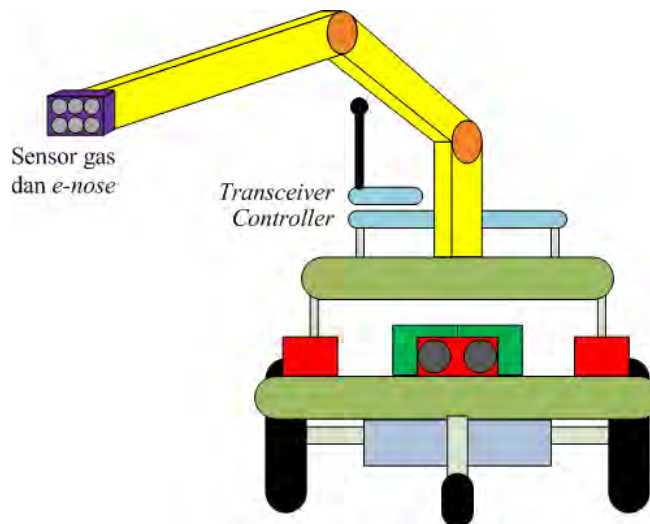
Gambar 3.3. Tahapan perancangan *olfactory arm mobile robot*

operator mengetahui posisi benda mencurigakan yang berisi bensin atau LPG maka dapat menggunakan robot untuk menginspeksi benda tersebut. Robot dikendalikan secara manual untuk menuju target benda. Namun, pada saat dekat dengan target berjarak kurang lebih 20 cm maka robot bergerak menelusuri benda dan lengan robot nya menavigasi untuk mendeteksi gas dengan dugaan yang kuat, keduanya bergerak otomatis secara bersamaan menggunakan kendali logika *fuzzy*.

Jarak diketahui menggunakan sensor jarak inframerah tipe *sharp*. Di sisi lain, sensor gas yang digunakan jenis oxide metal semikonduktor yaitu tipe TGS dan MQ. Sensor gas TGS sebanyak empat sensor dipasang pada ujung lengan dan sensor gas MQ sebanyak tiga sensor dirancang di dalam *chamber* yang membentuk *e-nose*. Dimana respon dari setiap sensor gas dikirimkan ke komputer untuk mendapatkan informasi dari hasil inspeksi pada benda. Pengiriman data dari respon sensor gas menggunakan modul komunikasi *wireless*. Dalam pengenalan pola gas maka *e-nose* dilatih menggunakan metode *support vector machine*. Gambar 3.4 menunjukkan rancang bangun *olfactory arm mobile robot*.



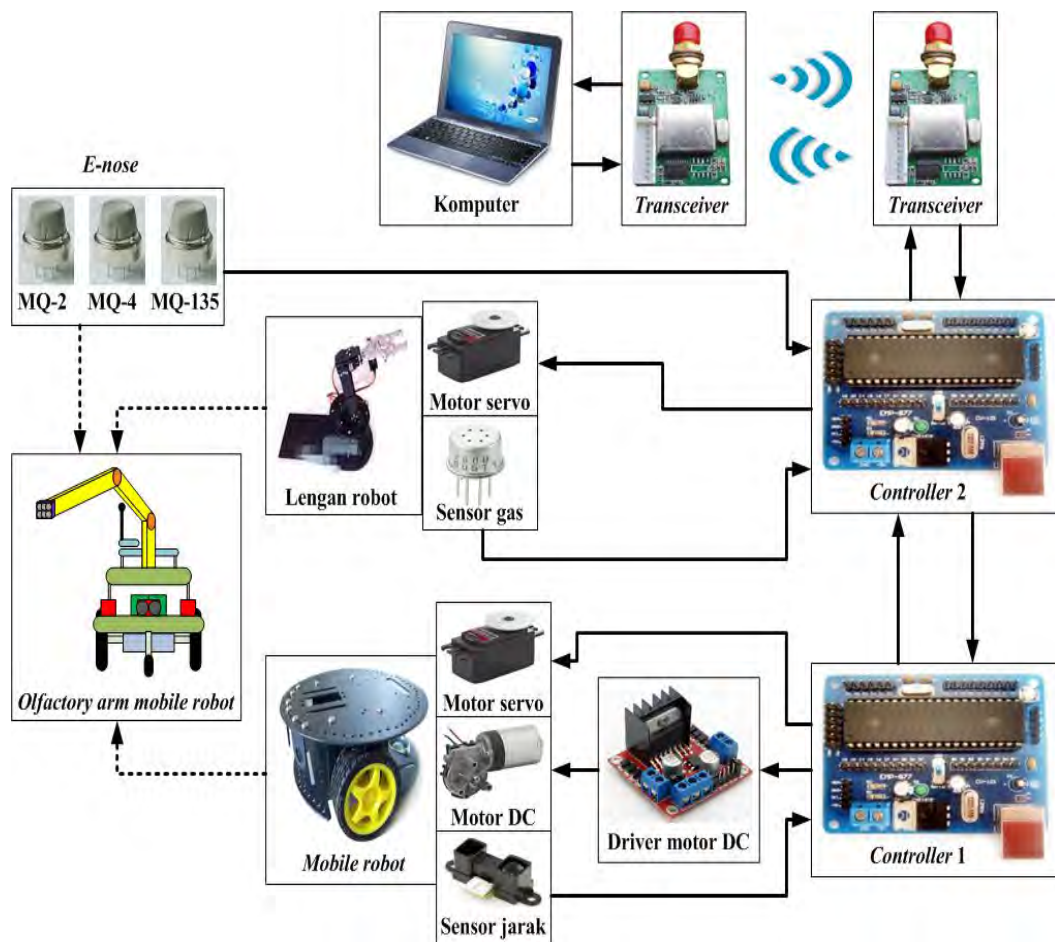
(a)



(b)

Gambar 3.4. Rancang bangun *olfactory arm mobile robot*, (a) tampak samping, (b) tampak depan

Pada sistem *olfactory arm mobile robot* terdapat beberapa modul yang digunakan, diantaranya modul *controller* 1 dan 2, sensor jarak, sensor gas dan *e-nose*, *driver* motor dc dan servo, dan komunikasi serial *wireless*. Dari Gabungan modul tersebut dijadikan ilustrasi perangkat keras dari sistem yang dirancang seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. Modul sensor jarak untuk mendeteksi jarak supaya robot dapat menjaga jarak selama proses inspeksi berlangsung. Modul sensor gas untuk mendeteksi adanya gas dan *e-nose* sebagai indra penciuman untuk mengenali jenis gas. Modul driver motor dc untuk mengontrol sinyal yang



Gambar 3.5. Ilustrasi perangkat keras dari sistem *olfactory arm mobile robot*

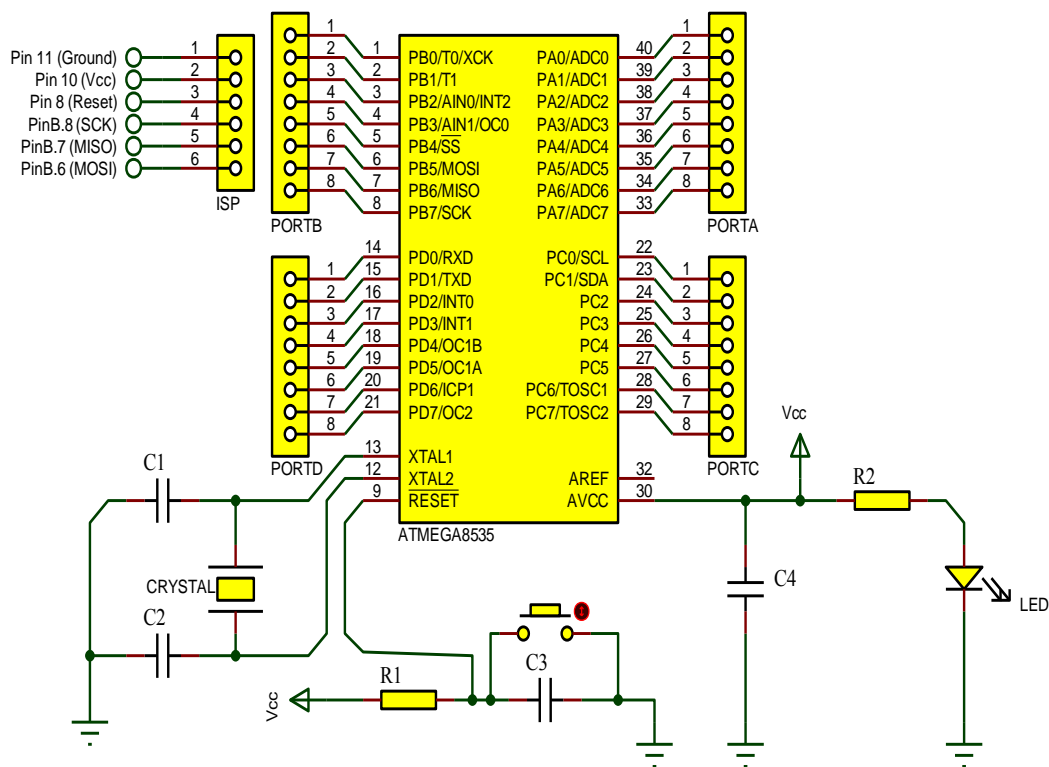
akan dikirimkan ke motor DC. Modul *controller1* menerima data masukan dari sensor jarak yang diproses oleh logika *fuzzy* untuk mengendalikan aksi pergerakan *mobile robot*. Modul *controller 2* berisi program logika *fuzzy*, konversi sinyal analog ke data digital untuk empat sensor gas TGS dan tiga sensor gas MQ. *Controller 2* menerima data dari empat sensor gas TGS2600 kemudian diproses oleh logika *fuzzy* untuk mengendalikan aksi pergerakan lengan robot, dan *controller 2* ini juga menerima data masukan dari sensor MQ2, MQ4 dan MQ135 untuk mengkonversi ke data digital yang kemudian dikirimkan ke komputer. Komputer menerima data dari tiga sensor gas MQ untuk diproses oleh teknik klasifikasi SVM dalam mengidentifikasi jenis gas berdasarkan pola yang dilatih. Sedangkan modul komunikasi *wireless* sebagai media transmisi data antara robot dengan komputer. Adapun skematik rangkaian yang digunakan dalam perancangan perangkat keras sebagai berikut :

1. Rangkaian *controller*.

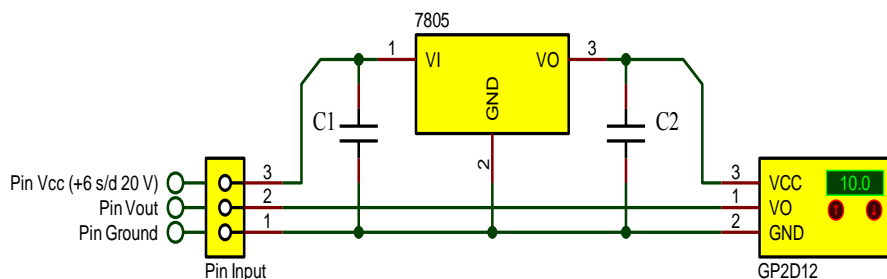
Rangkaian *controller* pada robot menggunakan skematik sistem minimum dan mikrokontroler ATmega8535. Adapun rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535 seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6.

2. Rangkaian sensor jarak.

Rangkaian sensor jarak pada *mobile robot* menggunakan Sharp GP2D12. Pada modul ini terdapat tiga terminal yaitu sumber 5V, *ground* dan tanggapan respon. Gambar 3.7 menunjukkan rangkaian sensor jarak.



Gambar 3.6. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega8535



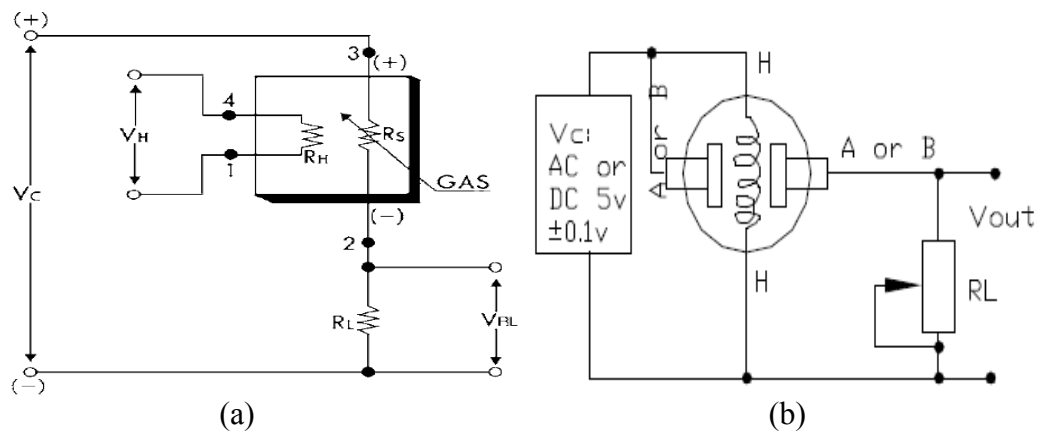
Gambar 3.7. Rangkaian sensor jarak

3. Rangkaian sensor gas dan *e-nose*.

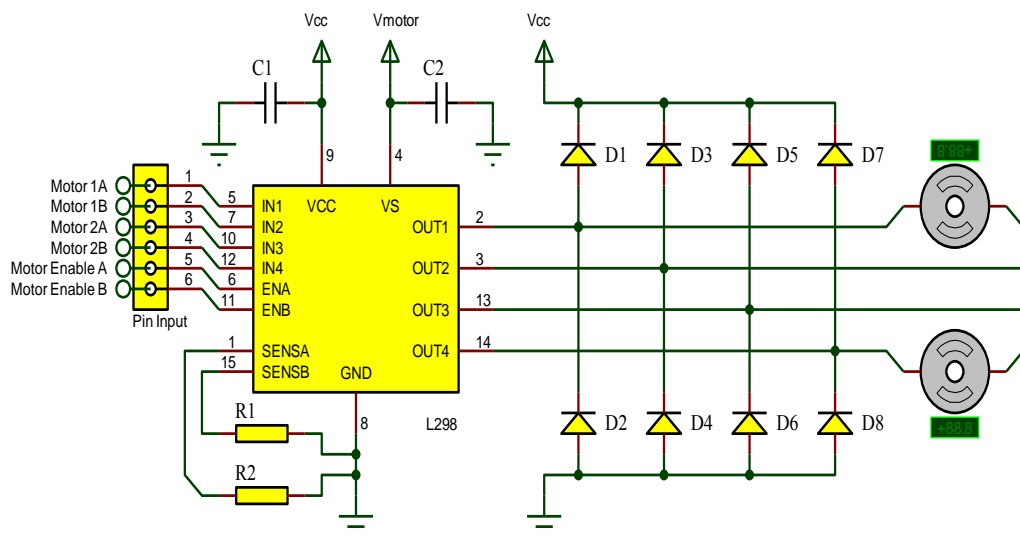
Rangkaian sensor gas pada ujung lengan menggunakan empat buah sensor gas TGS2600 dan rangkaian *e-nose* menggunakan sensor gas MQ2, MQ4 dan MQ135. Adapun rangkaian sensor gas TGS dan MQ ditunjukkan pada Gambar 3.8.

4. Rangkaian *driver* motor DC.

Rangkaian *driver* motor DC menggunakan L298 yang mengatur kecepatan putaran motor DC berdasarkan %*duty cycle* PWM yang diterima dari *controller* 1. Gambar 3.9 menunjukkan rangkaian *driver* motor DC.



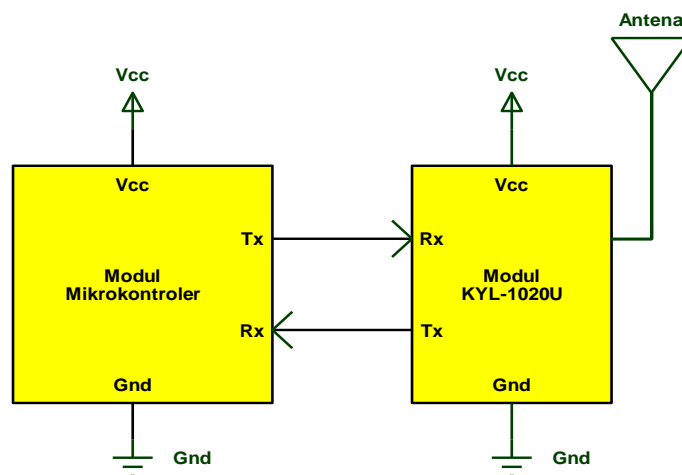
Gambar 3.8. Rangkaian sensor gas, (a) TGS, (b) MQ



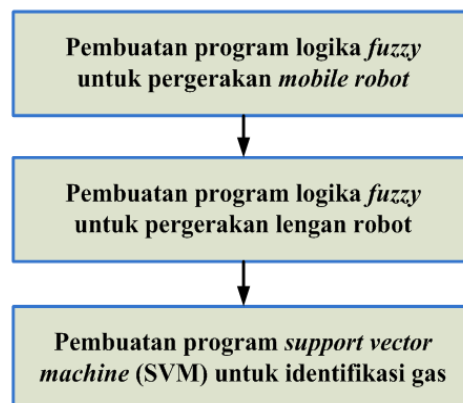
Gambar 3.9. Rangkaian *driver* motor DC

5. Modul komunikasi *wireless*.

Komunikasi serial *wireless* menggunakan modul KYL-1020U. Gambar 3.10 menunjukkan koneksi antar modul KYL-1020U dengan mikrokontroler. Perangkat ini jenis komunikasi *half duplex* yaitu pengirim (*transmitter*) ke penerima (*receiver*). Adapun spesifikasi dari modul *transceiver* KYL-1020U yaitu : *RF Power* kurang dari 50 mW/17dBm, arus pada saat *receiving* dan *transmitting* masing-masing <25 mA dan < 55 mA, *Sleep current* kurang dari 20 uA, *Power supply* 5 volt atau 3.3 volt DC, *Receiving sensitivity* yaitu 115 dBm (@9600bps), 120 dBm (@1200bps). Adapun rentang jarak mencapai 0.8 Km (*Bit Error Rate* = 10^{-3} @9600bps), dan bahkan 1 Km (*Bit Error Rate* = 10^{-3} @1200bps) saat antenna 2m dari lantai pada area terbuka).



Gambar 3.10. Koneksi antar modul KYL-1020U dengan mikrokontroler



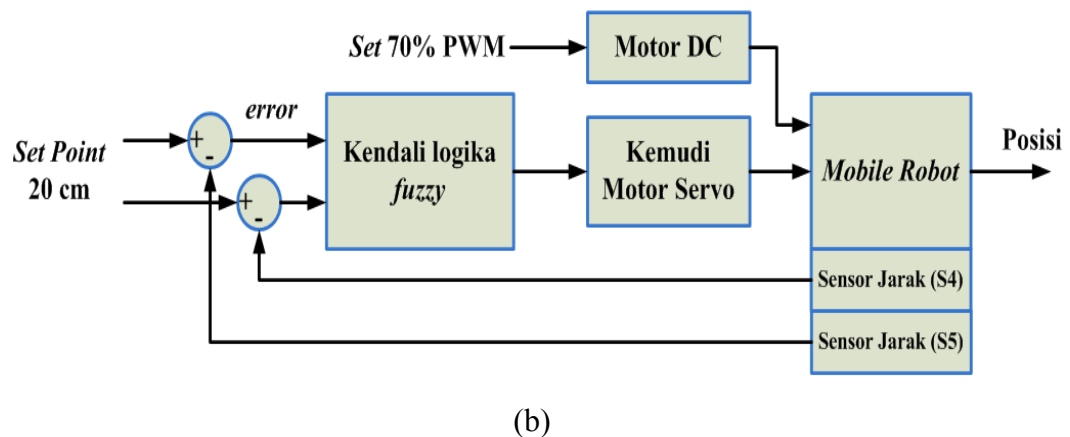
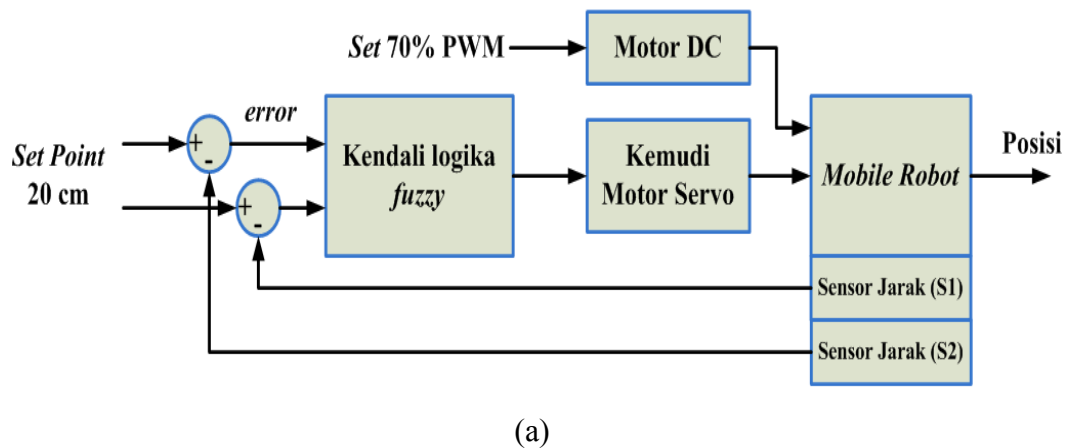
Gambar 3.11. Tahapan perancangan perangkat lunak *olfactory arm mobile robot*

3.3 Perancangan Perangkat Lunak *Olfactory Arm Mobile Robot*

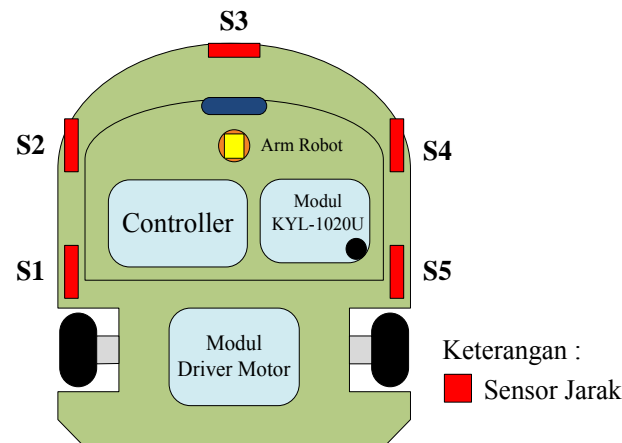
Pada tahapan ini dilakukan perancangan perangkat lunak untuk komputasi di dalam *olfactory arm mobile robot*. Perangkat lunak berupa program seperti logika *fuzzy* untuk pergerakan *mobile robot*, logika *fuzzy* untuk pergerakan lengan robot, dan *Support Vector Machine* (SVM) untuk pengenalan pola dalam *e-nose*. Sehingga dibuat tahapan dalam perancangan perangkat lunak *olfactory arm mobile robot* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.11.

3.3.1 Logika *Fuzzy* Untuk Pergerakan *Mobile Robot*

Perancangan navigasi pada *mobile robot* dilakukan supaya dihasilkan pergerakan yang baik. Pergerakan *mobile robot* ini dikontrol otomatis menggunakan logika *fuzzy*. Gambar 3.12 menunjukkan diagram blok kendali logika



Gambar 3.12. Diagram blok kendali logika *fuzzy* untuk pergerakan *mobile robot*, (a) untuk sisi kiri, (b) untuk sisi kanan



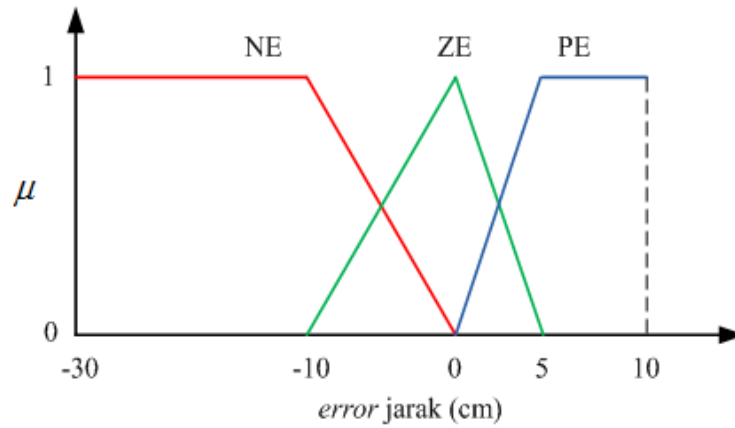
Gambar 3.13. Sensor jarak yang dipasang pada *mobile robot*

fuzzy untuk pergerakan *mobile robot*. Proses yang dilakukan pada logika *fuzzy* melewati tahapan yang telah dijelaskan pada SubBab 2.7. Data masukan untuk kendali logika *fuzzy* yaitu nilai *error* sensor jarak pada robot dengan benda. Dimana *error* didapatkan dari pengurangan *setpoint* 20 cm dengan sensor jarak. Sensor jarak tersebut sebanyak lima buah sensor yang dipasang pada kiri, depan dan kanan robot seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13. Di sisi lain perlu diketahui data keluaran dari logika *fuzzy* yaitu aksi pergerakan dari aktuator untuk menentukan posisi robot.

Adapun tahapan penyelesaian pada logika *fuzzy* untuk pergerakan *mobile robot* :

1. Tahap fuzzifikasi.

Pada *mobile robot* terdapat lima sensor jarak yang dirancang menjadi dua kelompok berdasarkan Gambar 3.12 dan 3.13. Kelompok pertama pada sisi kiri yaitu sensor S1 dan S2. Kelompok kedua pada sisi kanan yaitu sensor S4 dan S5. Di sisi lain, sensor S3 sebagai penjaga jarak dari *mobile robot* dengan benda yang ada di depan. Oleh karena itu dirancang fungsi keanggotaan untuk masukan *error* jarak dari sensor. Adapun fungsi keanggotaan untuk masukan *error* jarak ditunjukkan pada Gambar 3.14. Parameter variabel *error* jarak tersebut yaitu *Negative Error* (NE), *Zero Error* (ZE) dan *Positive Error* (PE).



Gambar 3.14. Fungsi keanggotaan untuk masukan *error jarak*

Berdasarkan pada Gambar 3.14, maka didapatkan perumusan untuk menghasilkan masukan *fuzzy* dari fungsi keanggotaan tersebut menggunakan Persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3).

$$\mu[NE] = \begin{cases} 1 & ; \text{error} < -10 \\ \frac{0 - \text{error}}{0 - (-10)} & ; -10 \leq \text{error} \leq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\mu[ZE] = \begin{cases} \frac{\text{error} - (-10)}{0 - (-10)} & ; -10 \leq \text{error} < 0 \\ \frac{5 - \text{error}}{5 - 0} & ; 0 \leq \text{error} \leq 5 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\mu[PE] = \begin{cases} \frac{\text{error} - 0}{5 - 0} & ; 0 \leq \text{error} < 5 \\ 1 & ; 5 \leq \text{error} \leq 10 \end{cases} \quad (3.3)$$

2. Tahap basis aturan dan inferensi.

Basis aturan dibentuk menjadi dua kelompok sesuai dengan tahap sebelumnya. Kelompok pertama mempunyai sembilan basis aturan untuk mengontrol gerak sisi kiri, dan kelompok kedua juga memiliki sembilan basis aturan untuk mengontrol gerak sisi kanan. Kedua kelompok tersebut untuk penjejak dinding pada benda. Adapun basis aturan kelompok pertama dari nilai *error jarak* (S1 dan S2) ditunjukkan pada Tabel 3.1, dan basis aturan kelompok kedua dari nilai *error jarak* (S4 dan S5) ditunjukkan pada Tabel 3.2. Ekspresi logika basis aturan dan

Tabel 3.1. Basis aturan kelompok pertama dari nilai *error* jarak

No	Error Jarak (sisi kiri)		Posisi
	S1	S2	
1	PE	PE	Maju
2	PE	ZE	Kiri Kecil
3	PE	NE	Kiri
4	ZE	PE	Kanan Kecil
5	ZE	ZE	Maju
6	ZE	NE	Kiri
7	NE	PE	Kanan Kecil
8	NE	ZE	Maju
9	NE	NE	Kiri

Tabel 3.2. Basis aturan kelompok kedua dari nilai *error* jarak

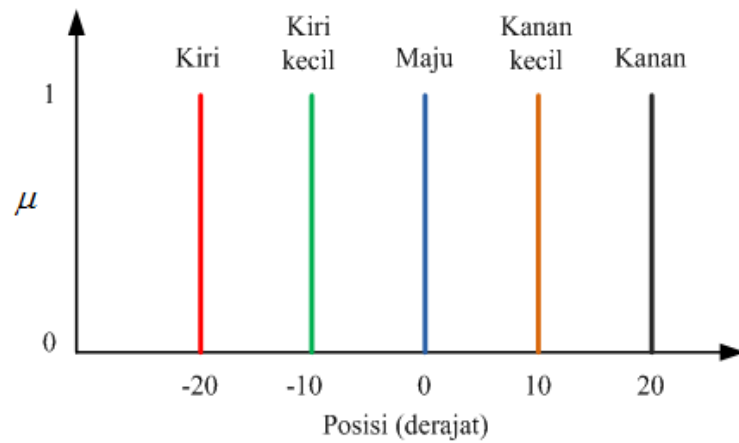
No	Error Jarak (sisi kanan)		Posisi
	S5	S4	
1	PE	PE	Maju
2	PE	ZE	Kanan Kecil
3	PE	NE	Kanan
4	ZE	PE	Kiri Kecil
5	ZE	ZE	Maju
6	ZE	NE	Kanan
7	NE	PE	Kiri Kecil
8	NE	ZE	Maju
9	NE	NE	Kanan

pengambilan keputusan dalam menentukan keluaran *fuzzy* yang tepat menggunakan mekanisme Max dan Min, seperti yang telah dijelaskan dalam SubBab 2.7.

3. Tahap defuzzifikasi.

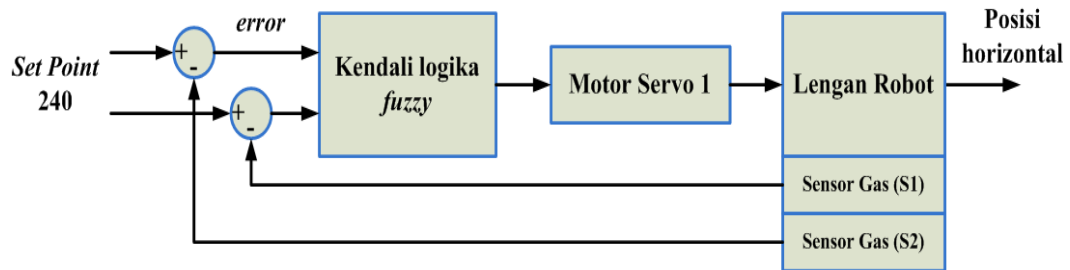
Pada tahap ini akan menghasilkan keluaran nilai *crisp* dari nilai *fuzzy* tersebut. Sehingga dirancang fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran posisi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15. Untuk perhitungan dalam mencari nilai *crisp* menggunakan metode *Center of Area* (CoA) seperti pada Persamaan (3.4),

$$Posisi = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)} \quad (3.4)$$

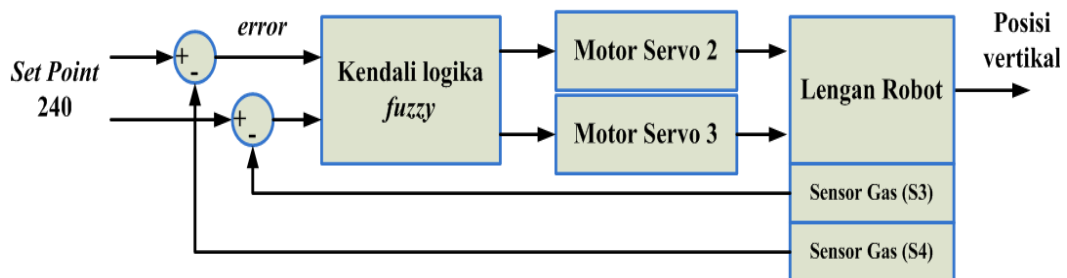


Gambar 3.15. Fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran posisi

dimana *posisi* sebagai nilai keluaran sudut (derajat) yang digunakan untuk gerak motor servo, $\mu(z)$ yaitu derajat keanggotaan dan z yaitu nilai *crisp* dari posisi.



(a)



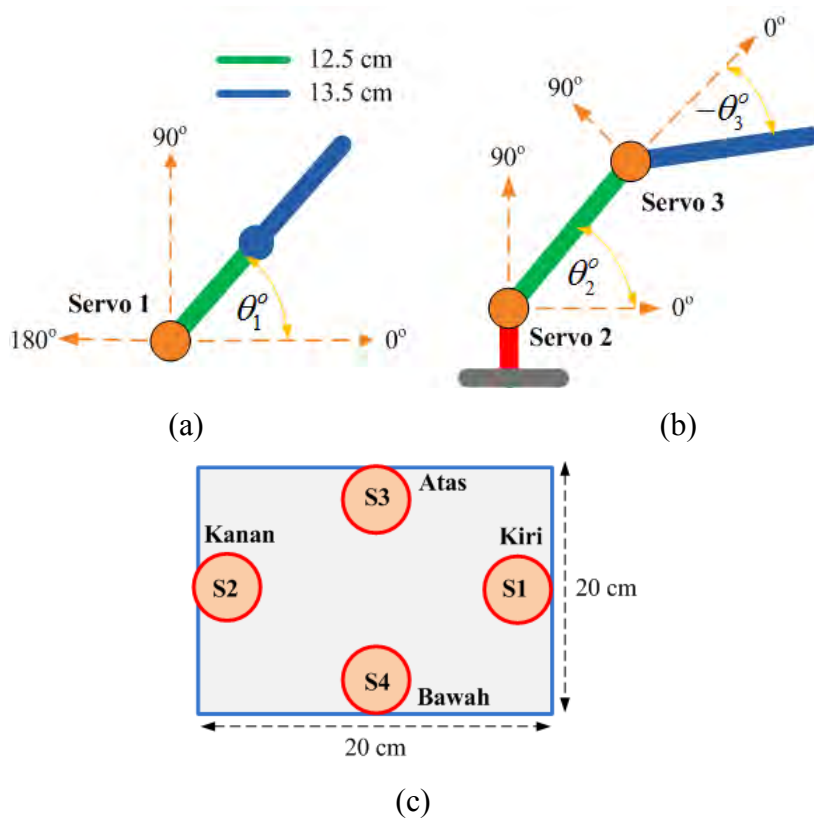
(b)

Gambar 3.16. Diagram blok kendali logika *fuzzy* untuk pergerakan lengan robot, (a) gerak horizontal, (b) gerak vertikal

3.3.2 Logika Fuzzy Untuk Pergerakan Lengan Robot

Pada aplikasi *mobile robot* yang dilengkapi dengan sensor gas sering digunakan untuk mencari lokasi sumber gas. Dalam pencarian tersebut, terkadang *mobile robot* hanya berada di area terdekat dari sumber. Namun belum memberikan kepastian yang kuat terhadap informasi dari terdeteksi gas tersebut dikarenakan pengaruh udara disekitar benda, untuk itu diperlukan lengan robot yang diintegrasikan dengan empat buah sensor gas. Pergerakan lengan robot ini digunakan untuk membantu sensor gas dalam mendeteksi gas. Oleh karena itu, pergerakan lengan robot dikontrol otomatis menggunakan kendali logika *fuzzy*. Gambar 3.16 menunjukkan diagram blok kendali logika *fuzzy* untuk pergerakan lengan robot.

Berdasarkan Gambar 3.16, data masukan untuk kendali logika *fuzzy* yaitu nilai *error* konsentrasi gas. Dimana *error* tersebut didapatkan dari pengurangan *setpoint* 240 dengan konsentrasi yang dideteksi oleh sensor gas. Nilai konsentrasi



Gambar 3.17. (a) sudut gerak servo 1 untuk gerak horizontal, (b) sudut servo 2 dan 3 untuk gerak vertikal, dan (c) peletakan empat sensor gas tampak depan

tersebut didapatkan dari respon keluaran sensor gas yang dikonversi menjadi *Analog to Digital Converter* (ADC) 8 bit, konsentrasi ini mengilustrasikan banyaknya kandungan gas yang dideteksi oleh sensor gas. Sensor gas tersebut sebanyak empat buah sensor gas yang dipasang pada ujung lengan. Di sisi lain perlu diketahui data keluaran dari kendali logika *fuzzy* yaitu aksi sudut servo untuk menentukan posisi ujung lengan robot. Adapun arah gerak motor servo dan tata letak sensor gas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17.

Adapun tahapan penyelesaian pada logika *fuzzy* untuk pergerakan lengan robot :

1. Tahap fuzzifikasi.

Pada ujung lengan robot terdapat empat sensor gas yang akan dibuat menjadi dua kelompok berdasarkan Gambar 3.16 dan 3.17(c). Kelompok pertama yaitu sensor gas S1 dan S2. Kelompok kedua yaitu sensor gas S3 dan S4. Oleh karena itu dirancang fungsi keanggotaan untuk masukan *error* konsentrasi dari sensor gas. Adapun fungsi keanggotaan untuk masukan *error* konsentrasi ditunjukkan pada Gambar 3.18. Berdasarkan pada Gambar 3.18, maka didapatkan perumusan untuk menghasilkan masukan *fuzzy* dari fungsi keanggotaan tersebut menggunakan Persamaan (3.5), (3.6) dan (3.7),

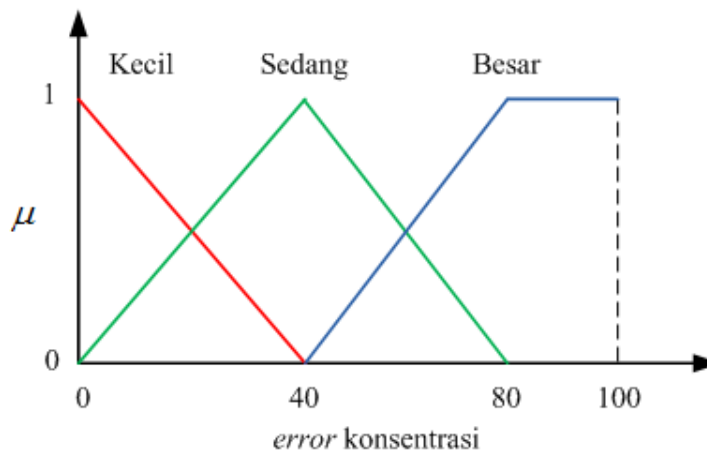
$$\mu[kecil] = \begin{cases} \frac{40 - error}{40 - 0} & ; \quad 0 \leq error \leq 40 \end{cases} \quad (3.5)$$

$$\mu[sedang] = \begin{cases} \frac{error - 0}{40 - 0} & ; \quad 0 \leq error < 40 \\ \frac{80 - error}{80 - 40} & ; \quad 40 \leq error \leq 80 \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\mu[besar] = \begin{cases} \frac{error - 40}{80 - 40} & ; \quad 40 \leq error < 80 \\ 1 & ; \quad 80 \leq error \leq 100 \end{cases} \quad (3.7)$$

2. Tahap basis aturan dan inferensi.

Basis aturan ini juga dibentuk menjadi dua kelompok. Kelompok pertama mempunyai sembilan basis aturan untuk mengontrol gerak horizontal, dan kelompok kedua juga memiliki sembilan basis aturan untuk mengontrol gerak vertikal. Kedua kelompok tersebut untuk menavigasi dalam menemukan gas.



Gambar 3.18. Fungsi keanggotaan untuk masukan *error* konsentrasi

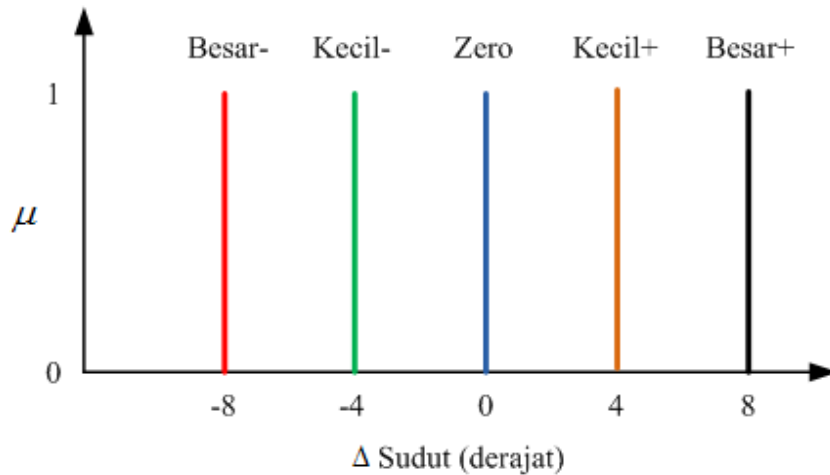
Adapun basis aturan kelompok pertama dari nilai *error* konsentrasi (sensor gas S1 dan S2) ditunjukkan pada Tabel 3.3, dan basis aturan kelompok kedua dari nilai *error* konsentrasi (sensor gas S3 dan S4) ditunjukkan pada Tabel 3.4. Expresi logika basis aturan seperti yang telah dijelaskan dalam SubBab 2.7, dan pengambilan keputusan juga menggunakan metode Max dan Min untuk menghasilkan keluaran *fuzzy*. Pada Tabel 3.4 terlihat keluaran untuk sudut servo 2 dan 3 dengan variabel sama, namun dalam aplikasinya dibuat berbeda tanda supaya ujung lengan selalu menghadap kearah depan benda.

Tabel 3.3. Basis aturan kelompok pertama dari nilai *error* konsentrasi

No	Error Konsentrasi		Sudut servo 1
	S1	S2	
1	Kecil	Kecil	Zero
2	Kecil	Sedang	Kecil+
3	Kecil	Besar	Besar+
4	Sedang	Kecil	Kecil-
5	Sedang	Sedang	Zero
6	Sedang	Besar	Kecil+
7	Besar	Kecil	Besar-
8	Besar	Sedang	Kecil-
9	Besar	Besar	Zero

Tabel 3.4. Basis aturan kelompok kedua dari nilai *error* konsentrasi

No	Error Konsentrasi		Sudut servo 2	Sudut servo 3
	S3	S4		
1	Kecil	Kecil	Zero	Zero
2	Kecil	Sedang	Kecil-	Kecil-
3	Kecil	Besar	Besar-	Besar-
4	Sedang	Kecil	Kecil+	Kecil+
5	Sedang	Sedang	Zero	Zero
6	Sedang	Besar	Kecil-	Kecil-
7	Besar	Kecil	Besar+	Besar+
8	Besar	Sedang	Kecil+	Kecil+
9	Besar	Besar	Zero	Zero



Gambar 3.19. Fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran sudut servo

3. Tahap defuzzifikasi.

Pada tahap ini akan menghasilkan keluaran nilai *crisp* dari nilai *fuzzy* tersebut. Sehingga perlu dirancang fungsi keanggotaan untuk nilai keluaran sudut servo yang ditunjukkan pada Gambar 3.19. Untuk perhitungan dalam mencari nilai *crisp* menggunakan metode *Center of Area* (CoA) seperti pada Persamaan (3.8),

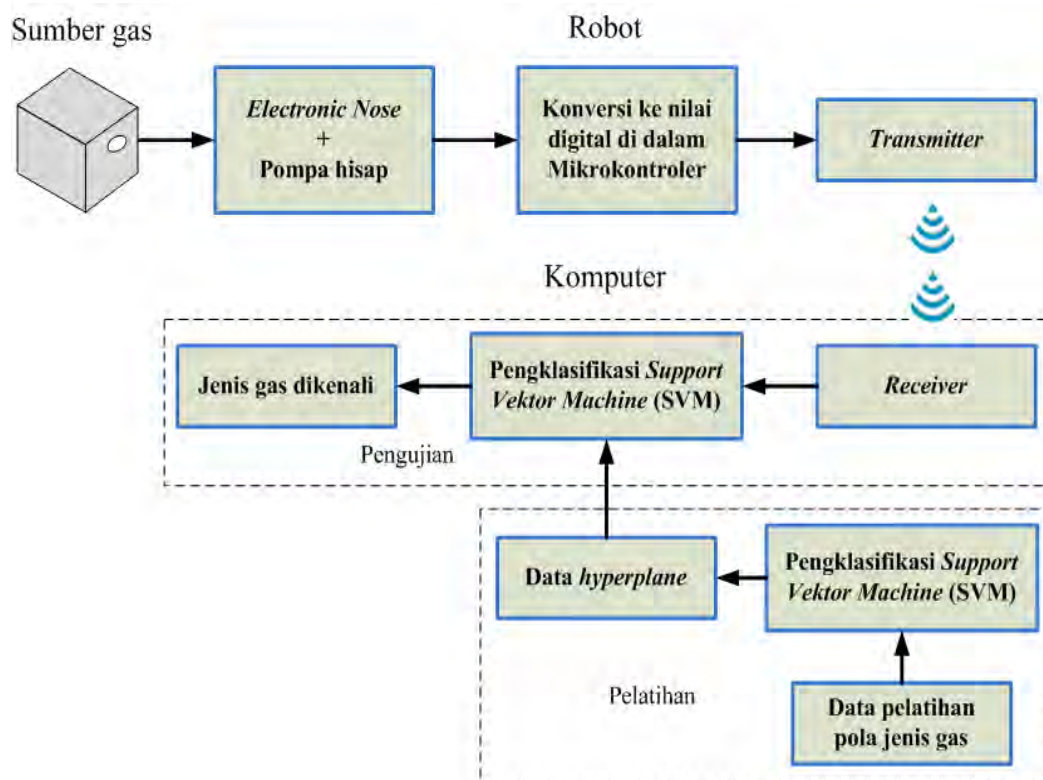
$$\Delta \text{sudut} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(z_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n \mu(z_i)} \quad (3.8)$$

$$\text{sudut}[i+1] = \text{sudut}[i] + \Delta \text{sudut} \quad (3.9)$$

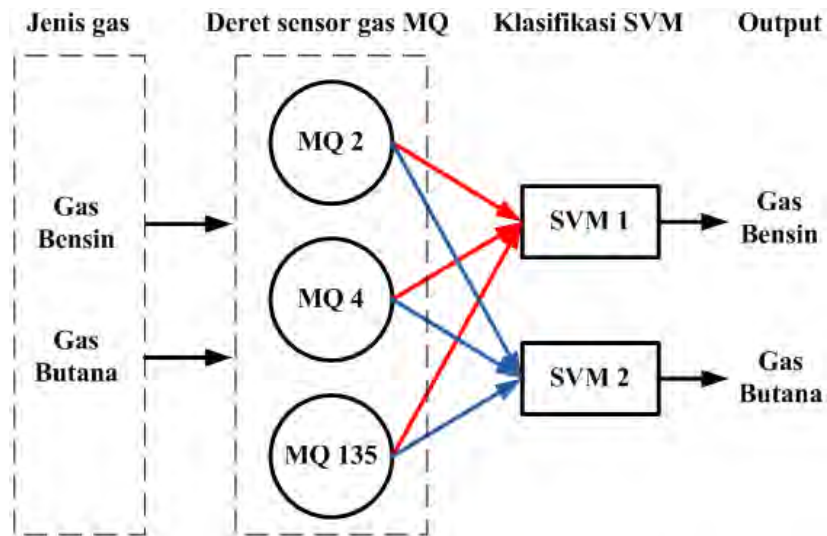
dimana Δsudut sebagai nilai keluaran posisi sudut servo yang akan digunakan untuk gerak motor servo 1, 2 dan 3, $\mu(z)$ yaitu derajat keanggotaan dan z yaitu nilai *crisp* dari posisi sudut servo. Berdasarkan hasil defuzzifikasi pada Persamaan (3.8) maka nilai posisi sudut servo akan selalu diperbarui menurut Persamaan (3.9).

3.3.3 Support Vector Machine Untuk Identifikasi Gas

Untuk mengidentifikasi gas menggunakan deret sensor gas (*e-nose*) yang ditambah pompa penghisap. Jenis gas yang akan dikenali polanya seperti gas bensin dan butane. Jenis gas akan mengilustrasikan gas yang terdapat pada benda berisi bensin atau LPG. Sampel gas tersebut diambil untuk dikenali polanya masing-masing. *E-nose* dibentuk dengan deretan sensor gas MQ2, MQ4 dan MQ135. *E-nose* yang mendeteksi gas tersebut akan mengeluarkan respon sinyal tegangan yang membentuk pola. Pola inilah yang digunakan dalam pengolahan sistem *e-nose*. Oleh karena itu sinyal tersebut akan diproses oleh mikrokontroler



Gambar 3.20. Rancangan pembuatan program SVM untuk identifikasi jenis gas



Gambar 3.21. Arsitektur SVM dengan metode *one vs others* untuk *e-nose*

untuk diubah ke nilai digital kemudian dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial *wireless*. Algoritma untuk mengidentifikasi jenis gas menggunakan teknik pengklasifikasi SVM *one vs others*. Rancangan pembuatan program SVM untuk identifikasi jenis gas seperti ditunjukkan pada Gambar 3.20. Program dirancang di dalam komputer untuk pelatihan dan pengujian sistem *e-nose* untuk mengenali jenis gas.

Adapun arsitektur SVM dengan metode *one vs others* untuk *e-nose* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.21. Langkah-langkah algoritma SVM untuk identifikasi bau gas diambil dari penjelasan SubBab 2.8. Adapun langkah-langkah pembuatan program SVM untuk identifikasi gas :

1. Tahap pelatihan.

- a) Menentukan jumlah kelas SVM biner.
- b) Memetakan data dari *input space* kebentuk *feature space* menggunakan Kernel *Radial Basis Function* seperti pada Persamaan (3.10).

$$K(\vec{x}, \vec{y}) = \exp(-\gamma \|\vec{x} - \vec{y}\|^2) \quad (3.10)$$

- c) Menentukan nilai *support vector* dari nilai $\alpha \neq 0$ dengan menghitung nilai $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ (n : banyaknya data pelatihan) dari *Quadrating Programming* bentuk ganda pada Persamaan (2.16), dimana algoritma untuk

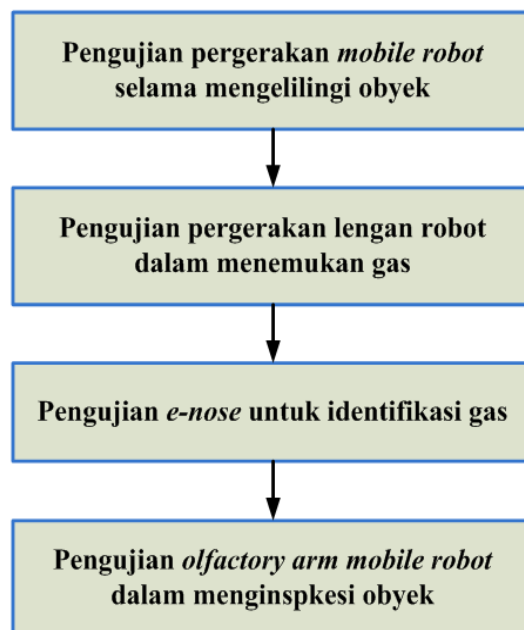
menyelesaikan masalah pada Persamaan (2.16) ini dilakukan dengan mengikuti tahapan dari *sequential SVM* yang telah diuraikan dalam SubBab 2.8. Maka dari itu akan diperoleh data x_i yang berkorelasi dengan $\alpha \neq 0$ sebagai *support vector*.

2. Tahap pengujian.

- a) Menentukan jumlah kelas SVM biner.
- b) Memetakan data dari *input space* kebentuk *feature space* menggunakan Kernel RBF sama seperti pada Persamaan (3.10).
- c) Menghitung fungsi pengambilan keputusan terakhir menggunakan Persamaan (2.22) dalam SubBab 2.8.

3.4 Evaluasi Kemampuan *Olfactory Arm Mobile Robot* Untuk Identifikasi Gas

Tujuan evaluasi ini yaitu mengetahui apakah *olfactory arm mobile robot* telah mampu mengidentifikasi gas selama proses inspeksi. Pengambilan data percobaan akan dilakukan dalam beberapa tahap pengujian. Gambar 3.22 menunjukkan beberapa tahapan pengujian *olfactory arm mobile robot*. Untuk melakukan percobaan *olfactory arm mobile robot* diuji pada arena dengan ukuran



Gambar 3.22. Tahapan pengujian *olfactory arm mobile robot*

240 cm x 360 cm, dimana arena ini akan mengilustrasikan tempat yang terdapat benda yang dicurigai. Benda mencurigakan pada penelitian ini berupa kotak yang berisi gas bensin dan butane.

3.5 Analisa Data.

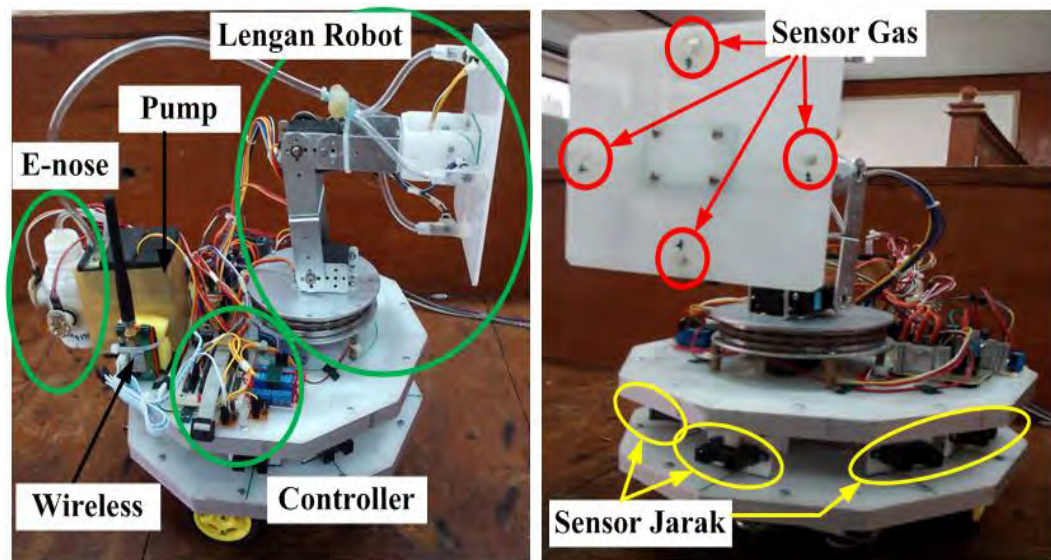
Setelah dilakukan tahapan percobaan akan diambil data dan dilanjutkan dengan menganalisa data yang diperoleh dari hasil percobaan tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada *olfactory arm mobile robot* yang telah dirancang maka dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja dari sistem beserta analisa terhadap data yang diperoleh. Pengujian ini dilakukan secara terpisah atau perbagian dan menyeluruh untuk memudahkan dalam menganalisa dan menghindari adanya kesalahan. Pengujian *olfactory arm mobile robot* dilakukan pada bagian *hardware* dan *software* dengan pengambilan data berupa respon gerak *mobile robot* secara manual maupun otomatis yaitu data keluaran sensor, aktuator, hasil kalibrasi, gambar pergerakan *mobile robot* maupun lengan robot, dan *electronic nose*. Gambar 4.1 menunjukkan bentuk *olfactory arm mobile robot* yang telah dibuat. *Mobile robot* dan lengan robot dikendalikan oleh dua mikrokontroler secara terpisah, namun keduanya saling terintegrasi.



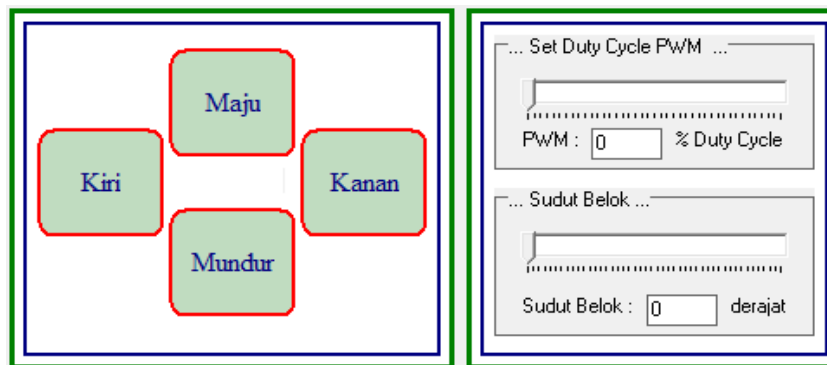
(a)

(b)

Gambar 4.1. Bentuk *olfactory arm mobile robot* yang telah dibuat, (a) dilihat dari samping, (b) dari depan

4.1 Pengujian Pergerakan *Mobile Robot* Secara Manual

Pengujian pergerakan *mobile robot* yang dikendalikan secara manual dilakukan saat jarak robot masih jauh dengan benda yaitu lebih dari 50 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon gerakan *mobile robot* ketika diberikan sinyal perintah gerak dari komputer. Cara pengujian ini dilakukan tanpa ada halangan antara *receiver* pada robot dengan *transmitter* pada komputer. Agar lebih memudahkan dalam mengendalikan *mobile robot* secara manual maka telah dirancang tampilan *interface visual* di dalam komputer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Adapun hasil pengujian kendali manual perintah gerak untuk *mobile robot* ditunjukkan pada Tabel 4.1. Pada pengujian tersebut dimulai pada jarak 2 m, berikutnya 5 m, 10 m, 20 m dan 30 m antar *transmitter* dengan *receiver*. Pada jarak terjauh 30 m, robot masih mampu menerima respon perintah gerak dari komputer, dimana robot tersebut masih terlihat oleh operator.



Gambar 4.2. Tampilan *interface visual* untuk mengendalikan *mobile robot* secara manual di dalam komputer

Tabel 4.1. Pengujian kendali manual perintah gerak untuk *mobile robot*

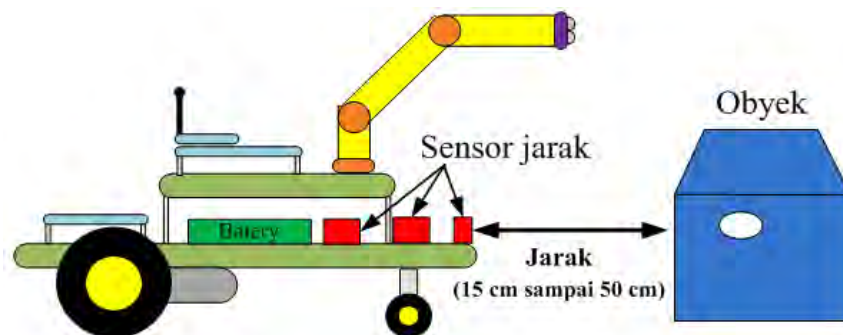
No	Perintah Gerak Robot	Respon Hasil Pergerakan
1	Simbol maju (<i>logic</i> = 1)	Robot bergerak maju
2	Simbol kiri (<i>logic</i> = 2)	Robot bergerak ke kiri
3	Simbol kanan (<i>logic</i> = 3)	Robot bergerak ke kanan
4	Simbol mundur (<i>logic</i> = 4)	Robot bergerak mundur
5	Set % <i>duty cycle</i> PWM (65% sampai 100%)	Kecepatan robot berubah sesuai nilai yang ditentukan
6	Set sudut belok (0° sampai 30°)	Sudut belok robot berubah sesuai nilai yang ditentukan

4.2 Pengujian Pergerakan *Mobile Robot* Untuk Gerak Otomatis

Pengujian pergerakan *mobile robot* dilakukan dengan menempatkan *mobile robot* dan benda di arena pengujian. Pengujian ini dengan menjalankan *mobile robot* yang berada di samping benda. Langkah-langkah yang dilakukan :

4.2.1 Pengujian Jarak Antar *Mobile Robot* Dengan Benda

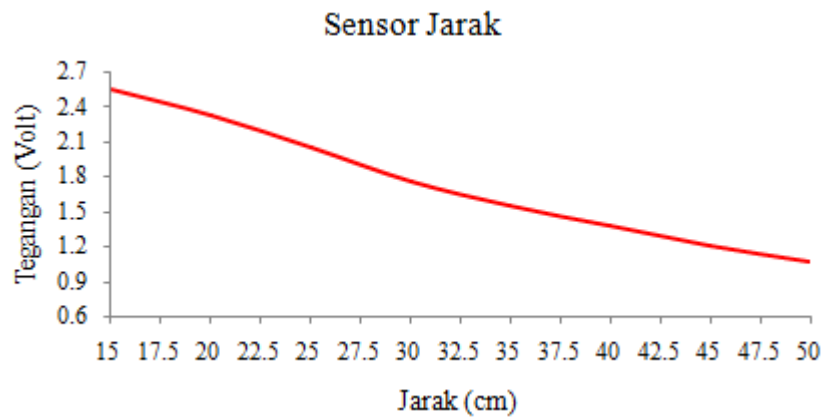
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak antara *mobile robot* dengan benda menggunakan sensor jarak inframerah. Cara pengujian ini dilakukan dengan menempatkan benda pada jarak tertentu di depan *mobile robot*. Gambar 4.3 memperlihatkan *setting* pengujian jarak benda dengan sensor jarak. Sensor akan mendeteksi jarak yang akan menghasilkan respon keluaran nilai tegangan. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap nilai keluaran sensor untuk setiap jarak yang berbeda.



Gambar 4.3. *Setting* pengujian jarak benda dengan sensor jarak

Tabel 4.2. Hasil pengujian sensor jarak terhadap benda

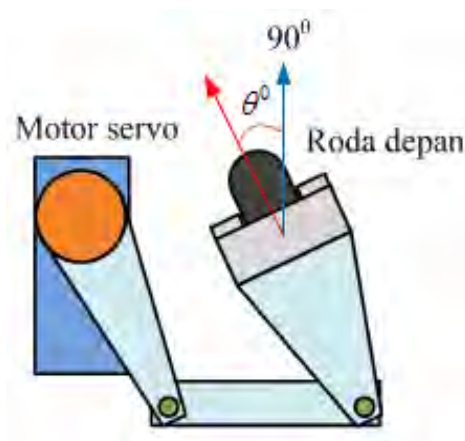
No	Jarak (cm)	Keluaran Sensor (Vdc)	Konversi ADC 8 bit (desimal)
1	15	2.55	130
2	20	2.33	119
3	25	2.06	105
4	30	1.76	90
5	35	1.55	79
6	40	1.37	70
7	45	1.22	62
8	50	1.08	55



Gambar 4.4. Grafik hasil pengujian sensor jarak terhadap benda

$$jarak (cm) = \frac{3234}{V_{out}} \times 7.12 \quad (4.1)$$

Hasil pengujian sensor jarak terhadap benda ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.4. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan respon tegangan dari sensor jarak yang dikonversi ke data digital (ADC) untuk proses kalibrasi ke nilai jarak dalam centimeter seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4.1). Rentang jarak yang diambil berkisar 15 cm sampai 50 cm, karena berdasarkan Gambar 4.4 terlihat jarak terhadap tegangan masih bersifat linear.



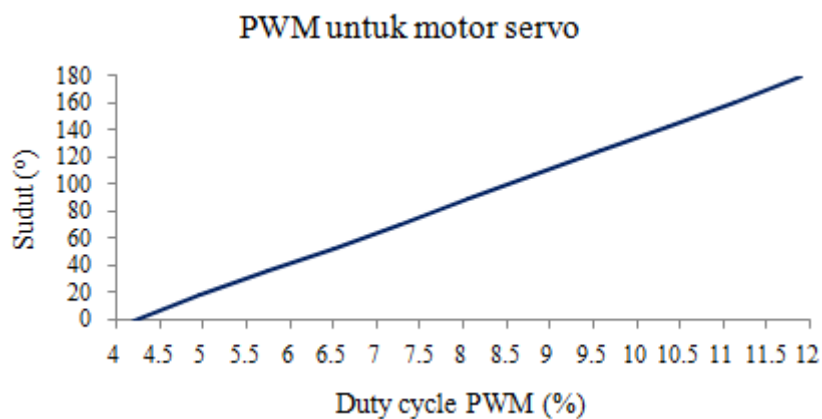
Gambar 4.5. Roda depan dan motor servo sebagai arah gerak *mobile robot*

4.2.2 Pengujian Sudut Belok *Mobile Robot*

Pengujian ini untuk mengetahui arah pergerakan dari *mobile robot*. Untuk membuat sudut belok ini digunakan motor servo yang dipasang di roda depan. Gambar 4.5 menunjukkan roda depan dan motor servo sebagai arah gerak *mobile robot*. Untuk menggerakkan motor servo dengan memberikan pulsa PWM yang dihasilkan dari keluaran OCR1A di Mikrokontroler ATmega8535. Pulsa PWM ini didapatkan dengan memanfaatkan timer 1, clock 1 MHz, *mode phase correct*

Tabel 4.3. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut belok

No	Duty Cycle PWM (%)	Sudut Servo (°)	Sudut Belok (servo – 90°)
1	4.20	0	-90 (kiri)
2	4.97	18	-72 (kiri)
3	5.74	36	-54 (kiri)
4	6.51	53	-37 (kiri)
5	7.28	71	-19 (kiri)
6	8.05	90	0 (lurus)
7	8.82	107	17 (kanan)
8	9.59	125	35 (kanan)
9	10.36	143	53 (kanan)
10	11.13	161	71 (kanan)
11	11.90	180	90 (kanan)



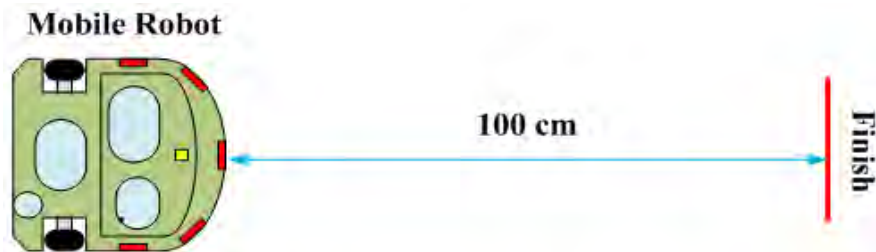
Gambar 4.6. Grafik hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut belok

PWM dengan batas tertinggi ICR1 2710_(h), dan keluaran bentuk gelombang *non-inverting*. Keluaran dari sinyal PWM ini dapat menentukan arah belokan pada *mobile robot*. Tabel 4.3 dan Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut belok.

Dari hasil pengujian terlihat data yang dihasilkan bersifat linear, sehingga dapat diaplikasikan untuk mengatur arah posisi pergerakan *mobile robot*. Pada saat dilakukan pengujian ini, terlebih dahulu menentukan pulsa PWM untuk posisi sudut 0° dan 180° yang merupakan titik batas dari sudut motor servo. Oleh karena itu rentang % PWM yang diberikan ke motor servo berkisar antara 4.20% sampai 11.90% *duty cycle* PWM. Berdasarkan Tabel 4.3 bahwa sudut belok yang diterapkan ke *mobile robot* yaitu sudut servo dikurangkan dengan nilai 90°.

4.2.3 Pengujian Kecepatan *Mobile Robot*

Pengujian ini untuk mengetahui kecepatan gerak *mobile robot*. Untuk menghasilkan kecepatan *mobile robot* digunakanlah motor dc yang dipasang di roda bagian belakang. Gambar 4.7 memperlihatkan *setting* pengujian kecepatan *mobile robot* dengan jarak tempuh 100 cm. Mengendalikan kecepatan *mobile robot* juga dilakukan dengan memberikan pulsa PWM yang dihasilkan dari keluaran OCR0 di mikrokontroler. Pulsa PWM ini didapatkan dengan memanfaatkan timer 0, clock 8 MHz, *mode phase correct* PWM dengan batas tertinggi FF_(h), dan keluaran bentuk gelombang *non-inverting*. Pengujian dilakukan dengan menempatkan *mobile robot* pada arena yang melaju dengan jarak tempuh 100 cm. Kemudian diberikan pulsa PWM yang bervariasi. Oleh karena itu, semakin besar % *duty cycle* PWM yang diberikan maka semakin cepat



Gambar 4.7. *Setting* pengujian kecepatan *mobile robot* untuk jarak tempuh 100 cm

Tabel 4.4. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi ke nilai kecepatan

No	Duty Cycle PWM (%)	Waktu Tempuh (s)	Kecepatan (cm/s)
1	65	9.44	10.59
2	70	4.51	22.17
3	75	3.31	30.21
4	80	2.54	39.37
5	85	2.14	46.73
6	90	1.86	53.76
7	95	1.65	60.60

pergerakan *mobile robot*. Kecepatan didapatkan dari hasil bagi jarak dengan waktu tempuh. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi ke bentuk nilai kecepatan ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Pada pengujian dimulai dengan memberikan pulsa PWM 65% karena merupakan batas paling lambat dari pergerakan *mobile robot*. Jika diberikan nilai lebih kecil dari 65% PWM maka *mobile robot* tidak bergerak yang disebabkan oleh beban robot. Nilai kecepatan yang diberikan ke *mobile robot* sebesar 70% *duty cycle* PWM atau rentang 20 cm/s. Karena untuk menginspeksi benda *mobile robot* harus bergerak dengan kecepatan pelan.

4.2.4 Pengujian Pergerakan *Mobile robot* Untuk Mengelilingi Benda

Pergerakan *mobile robot* diuji untuk mengetahui aksi robot dalam mengelilingi benda dengan mempertahankan jarak kurang lebih 20 cm. *Mobile robot* dan benda diletakkan di arena, benda yang digunakan dalam pengujian ini



(a)

(b)

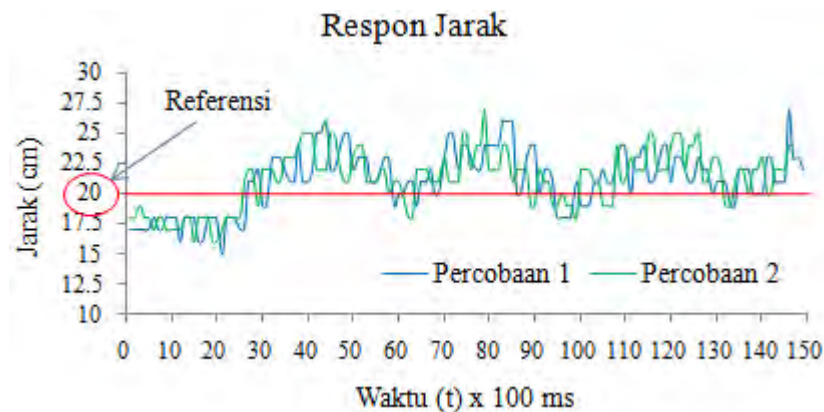
(c)

Gambar 4.8. Benda yang digunakan dalam percobaan, (a) benda 1, (b) benda 2, (c) benda 3

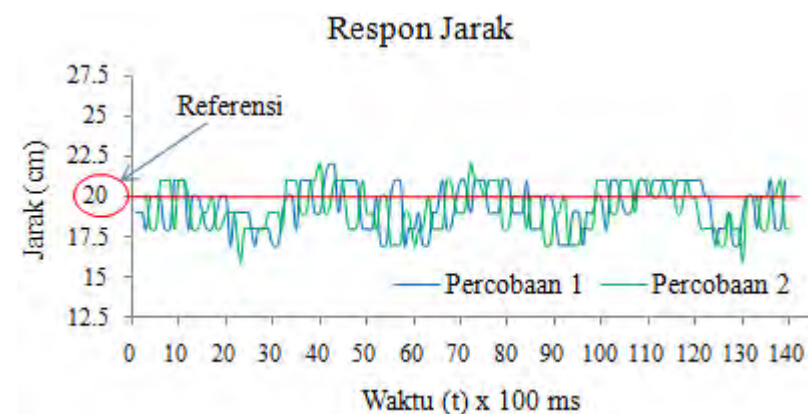
berupa tiga benda dengan ukuran berbeda. Adapun benda yang digunakan dalam percobaan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8. Berikut hasil percobaannya :

a) Pengujian dengan benda 1.

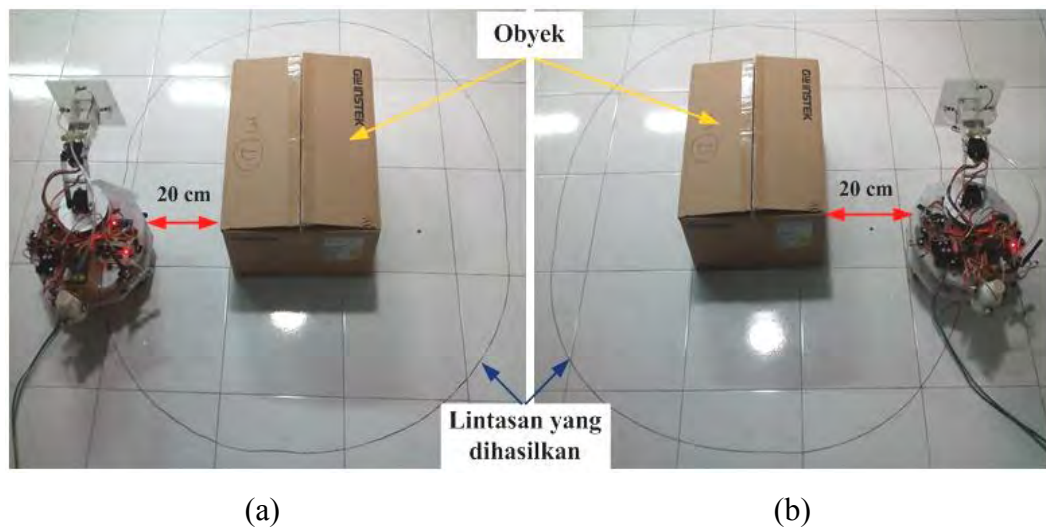
Pengujian ini dengan menjalankan *mobile robot* di bagian kanan maupun kiri dari benda 1 yang berukuran 45 cm x 36 cm. Pada pengujian ini *mobile robot* mengelilingi benda selama satu kali putaran. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 1 ditunjukkan pada Gambar 4.9. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 1 ditunjukkan pada Gambar 4.10. Adapun lintasan yang dihasilkan dari pergerakan *mobile robot* mengelilingi benda 1 ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.9. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 1



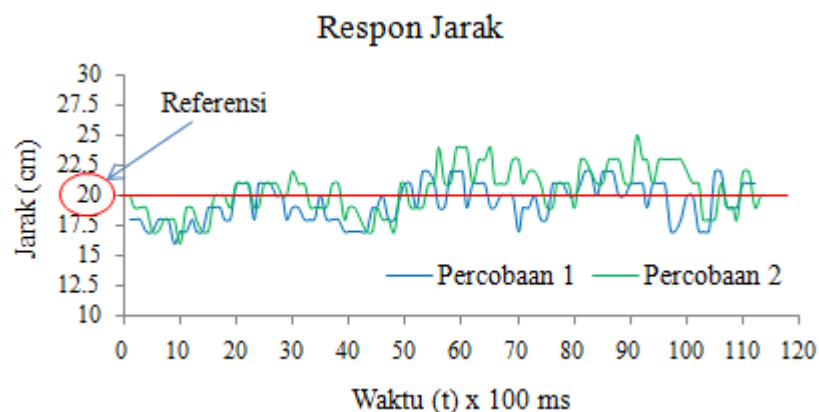
Gambar 4.10. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 1



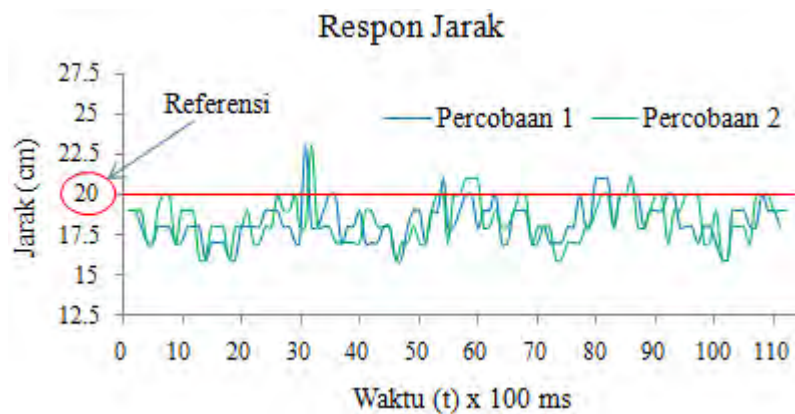
Gambar 4.11. Lintasan *mobile robot* pada benda 1, (a) sisi kanan, (b) kiri

b) Pengujian dengan benda 2.

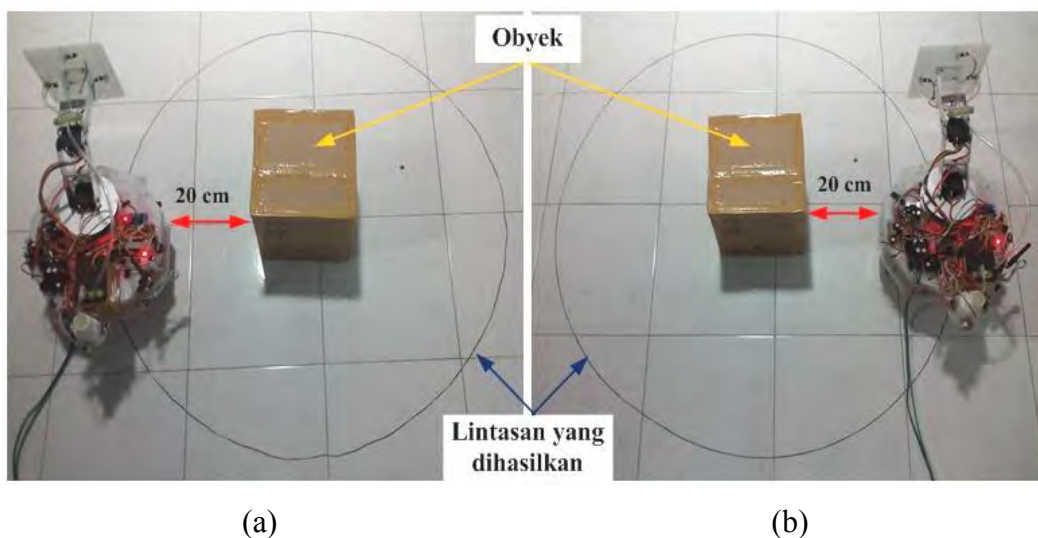
Pengujian ini dengan menjalankan *mobile robot* di bagian kanan maupun kiri dari benda 2 yang berukuran 21 cm x 21 cm. Pada pengujian ini *mobile robot* mengelilingi benda selama satu kali putaran. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 2 ditunjukkan pada Gambar 4.12. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 2 ditunjukkan pada Gambar 4.13. Adapun lintasan yang dihasilkan dari pergerakan *mobile robot* mengelilingi benda 2 ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.12. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 2



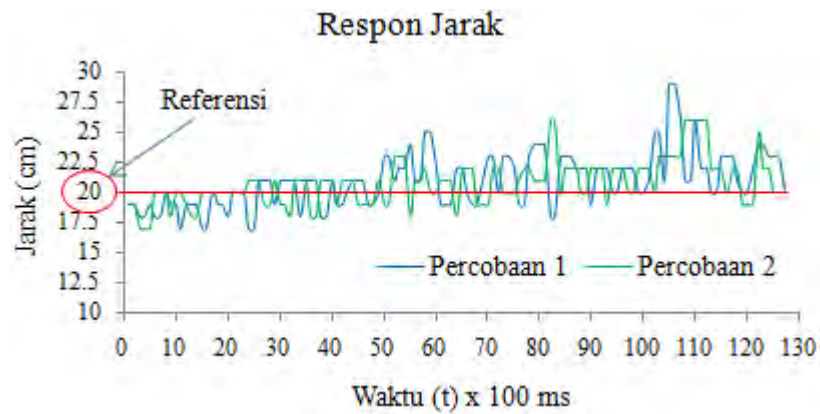
Gambar 4.13. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 2



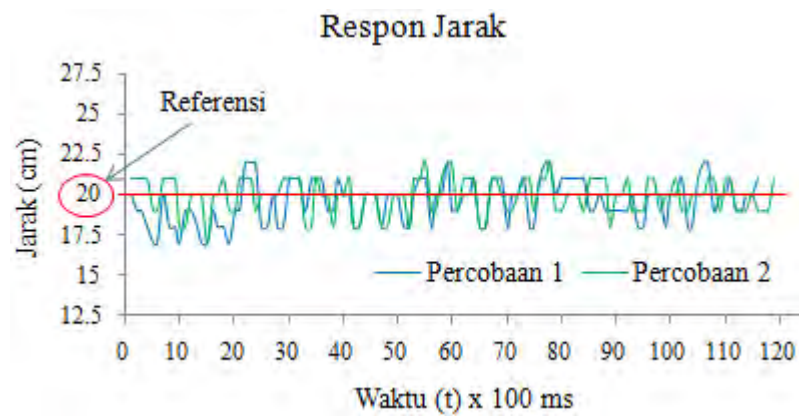
Gambar 4.14. Lintasan *mobile robot* pada benda 2, (a) sisi kanan, (b) kiri

c) Pengujian dengan benda 3.

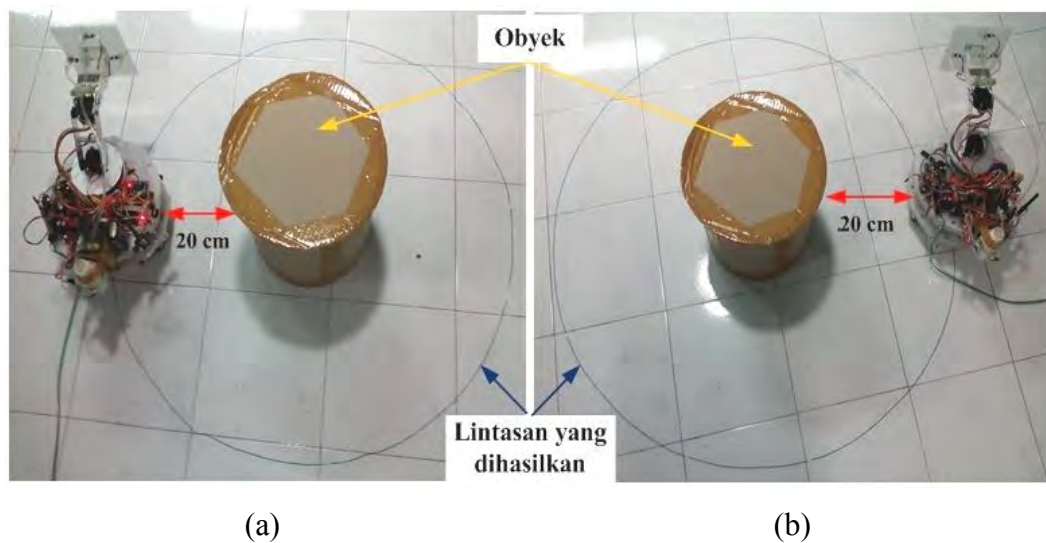
Pengujian ini dengan menjalankan *mobile robot* di bagian kanan maupun kiri dari benda 3 yang berdiameter 29 cm dan tinggi 30 cm. Pada pengujian ini *mobile robot* mengelilingi benda selama satu kali putaran. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 3 ditunjukkan pada Gambar 4.15. Hasil respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 3 ditunjukkan pada Gambar 4.16. Adapun lintasan yang dihasilkan dari pergerakan *mobile robot* mengelilingi benda 3 ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.15. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kanan benda 3



Gambar 4.16. Respon *mobile robot* dalam mengelilingi sisi kiri benda 3



Gambar 4.17. Lintasan *mobile robot* pada benda 3, (a) sisi kanan, (b) kiri

Tabel 4.5. Performa *mobile robot* untuk tetap berada pada *set point* 20 cm terhadap dinding benda

Percobaan :	Respon Jarak (cm)		Error Rata-rata (%)		Akurasi (%)
	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	
Pada obyek 1	20±6	20±4	11.40	6.36	91.12
Pada obyek 2	20±4	20±4	7.96	8.93	91.56
Pada obyek 3	20±7	20±3	8.58	5.07	93.18

Dari hasil percobaan tersebut diketahui bahwa *mobile robot* mampu mengelilingi benda dengan mempertahankan posisi jarak yang di *set point* 20 cm. Ketika benda terdeteksi jauh oleh sensor jarak S2 dan S4 maka *mobile robot* bermanuver untuk tetap mengikuti dinding benda tersebut. Oleh karena itu sensor jarak S1 dan S5 selalu mendekati jarak 20 cm dari benda. Pada percobaan dengan benda 1, diperoleh kesalahan rata-rata *mobile robot* dalam mempertahankan jarak 20 cm sebesar 11.40% untuk sisi dan 6.36 % untuk sisi kiri. Pada percobaan dengan benda 2, kesalahan rata-rata *mobile robot* dalam mempertahankan jarak 20 cm sebesar 7.96% untuk sisi kanan dan 8.93% untuk sisi kiri. Pada percobaan dengan benda 3, kesalahan rata-rata *mobile robot* dalam mempertahankan jarak 20 cm sebesar 8.58% untuk sisi kanan dan 5.07% untuk sisi kiri. Hal ini menunjukkan bahwa kendali logika *fuzzy* yang diterapkan mampu mengontrol pergerakan *mobile robot* dalam mengelilingi dinding benda tersebut. Tabel 4.5 menunjukkan performa dari *mobile robot* untuk tetap berada pada *set point* 20 cm terhadap dinding benda. Berdasarkan Tabel 4.5 dari hasil pengujian diperoleh tingkat akurasi rata-rata sebesar 91.95%.

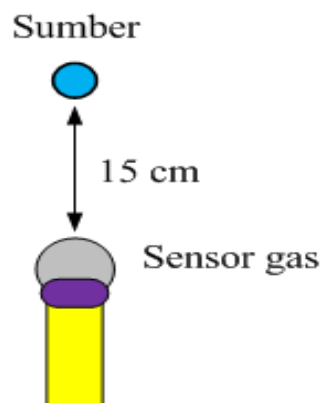
4.3 Pengujian Pergerakan Lengan Robot

Benda berisi sumber gas diletakkan di arena lalu dilakukan pengujian dengan menjalankan lengan robot yang berada di depan maupun samping benda. Lengan robot ini akan bergerak mencari posisi sumber kebocoran gas pada benda. Langkah-langkah yang dilakukan :

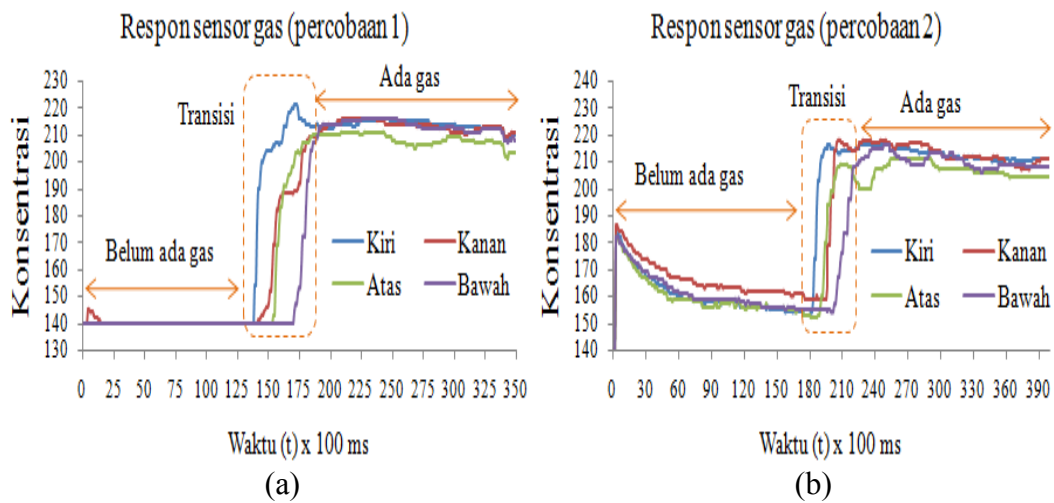
4.3.1 Pengujian Sensor Gas

Pengujian sensor gas dengan mendekatkan gas bensin dan butane dalam benda yang ditempatkan di arena dalam ruangan tertutup. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk respon atau sinyal keluaran dari empat buah sensor gas yang dipasang pada ujung lengan dalam mendeteksi gas. *Setting* percobaan sensor gas dalam mendeteksi gas ditunjukkan pada Gambar 4.18. Gas yang digunakan di dalam percobaan ini berupa gas bensin dan butane yang diletakan di depan lengan robot yang berjarak 15 cm. Penguapan gas dengan bantuan pompa yang langsung diarahkan ke ujung lengan robot. Posisi awal lengan robot yang ditentukan yaitu 90° , 45° dan -45° untuk masing-masing motor servo 1, 2 dan 3. Supaya gas tersebut dapat melewati sensor gas maka digunakan pompa hisap yang dipasang pada robot. Respon dari empat buah sensor gas dalam mendeteksi gas bensin ditunjukkan pada Gambar 4.19. Respon dari empat sensor gas dalam mendeteksi gas butane ditunjukkan pada Gambar 4.20.

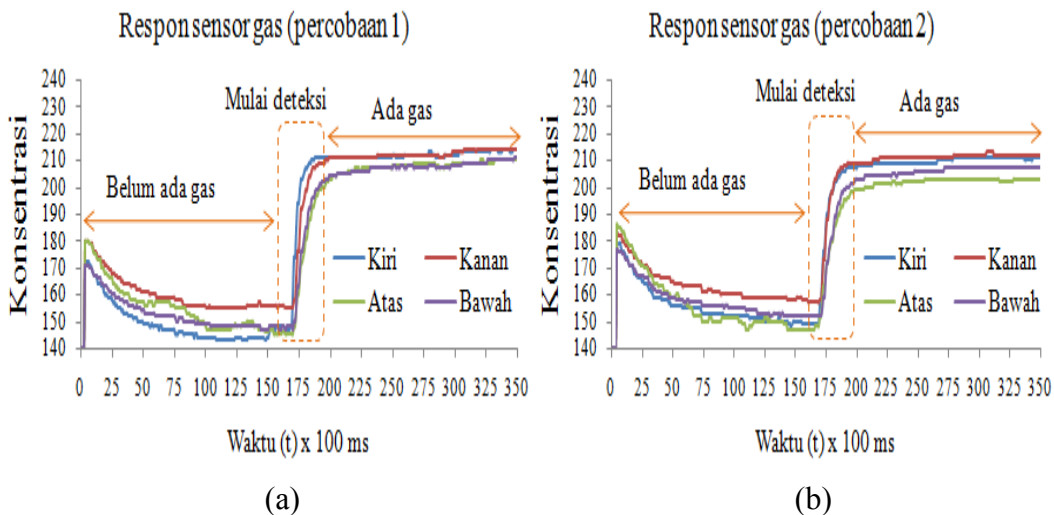
Dari hasil pengujian didapatkan bahwa empat buah sensor gas dapat mendeteksi gas bensin dan butane. Respon keluaran dari sensor gas dikonversi kebentuk nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) 8 bit, maka dari itu nilai tersebut mengilustrasikan tingkat konsentrasi dari gas. Sehingga semakin tinggi nilai ADC maka semakin tinggi konsentrasinya. Udara sekitar benda juga memperngaruhi perubahan respon sensor gas. Oleh karena itu peran kendali lengan robot secara otomatis dapat membantu mendeteksi gas dengan baik. Sensor gas kiri dan kanan untuk lebih diutamakan dalam pendeteksian karena



Gambar 4.18. *Setting* percobaan sensor gas dalam mendeteksi gas.



Gambar 4.19. Respon dari empat sensor gas dalam mendeteksi gas bensin, (a) percobaan 1, (b) percobaan 2



Gambar 4.20. Respon dari empat sensor gas dalam mendeteksi gas butane, (a) percobaan 1, (b) percobaan 2

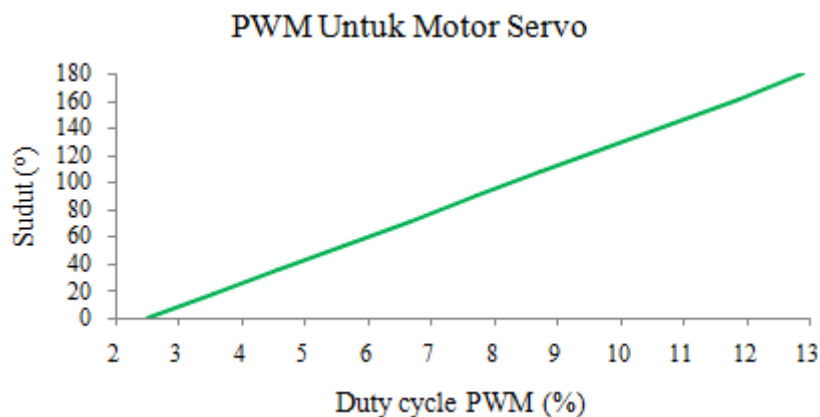
mempengaruhi gerakan secara horizontal dengan rentang sudut yang besar yaitu 0° sampai 180° . Sedangkan sensor gas atas dan bawah untuk gerak vertical dengan rentang sudut 0° sampai 45° . Oleh karena itu perlu dibuat *threshold* untuk deteksi gas yaitu konsentrasi di atas 170 dan tertinggi sebesar 240.

4.3.2 Pengujian Sudut Motor Servo Pada Lengan Robot

Perangkat aktuator motor servo dapat menggerakkan lengan robot supaya ujung lengan dapat mencapai posisi yang diinginkan. Untuk itu perlu dilakukan pengujian terhadap sudut motor servo. Pengujian ini mirip seperti pengujian pada

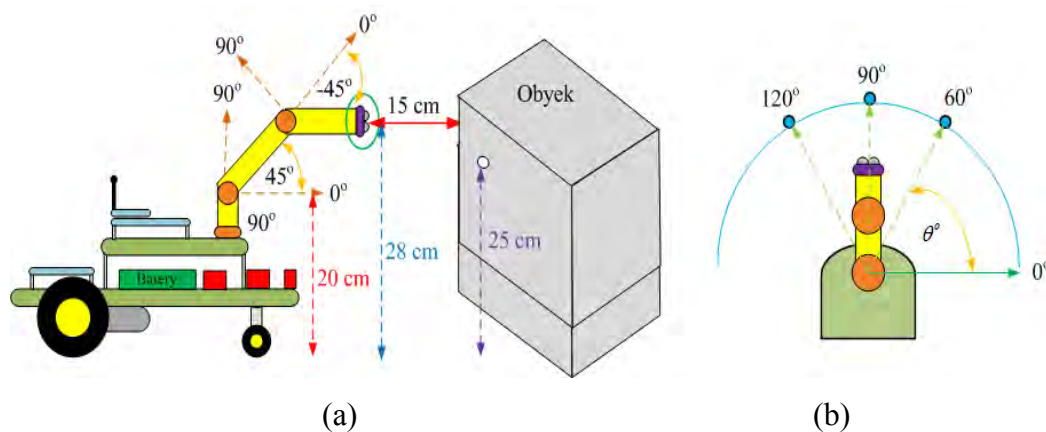
Tabel 4.6. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut lengan.

No	Duty Cycle PWM (%)	Sudut Servo (°)
1	2.50	0
2	3.54	18
3	4.58	36
4	5.62	54
5	6.66	72
6	7.70	90
7	8.74	108
8	9.78	126
9	10.82	144
10	11.86	162
11	12.90	180



Gambar 4.21. Grafik hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut lengan.

sudut belok pada *mobile robot*, namun motor servo yang digunakan tipe yang berbeda yang menyebabkan kalibrasi yang juga berbeda. Hasil pengujian pulsa PWM yang dikonversi kenilai sudut untuk lengan ditunjukkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.21. Dari hasil pengujian terlihat data yang dihasilkan bersifat linear sehingga bisa diaplikasikan untuk menggerakkan lengan robot. Ketika dilakukan pengujian ini, ditentukan pulsa PWM untuk menemukan posisi sudut 0° dan 180° yang merupakan titik batas dari sudut motor servo pada lengan robot. Sehingga rentang pulsa PWM yang akan diberikan ke motor servo berkisar antara 2.50% sampai 12.90% *duty cycle* PWM.



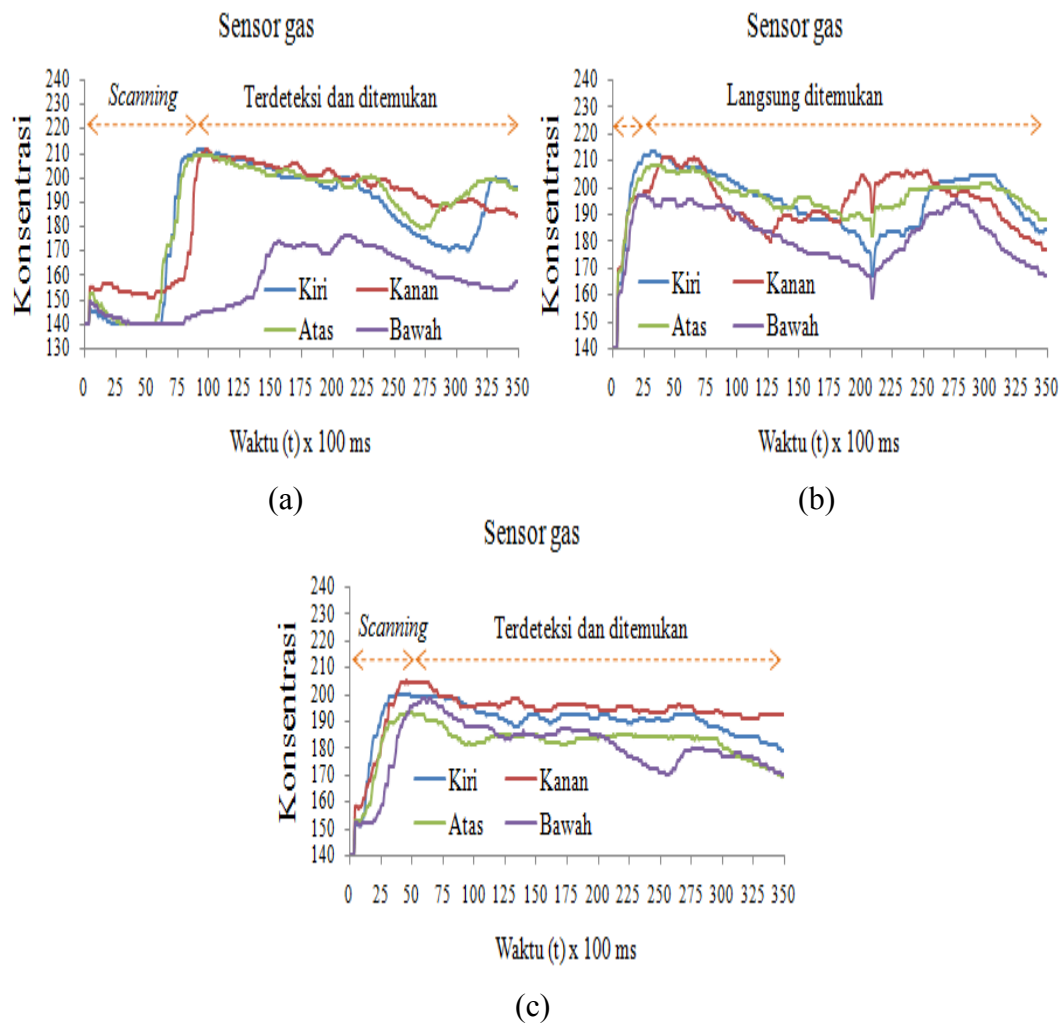
Gambar 4.22. *Setting* pengujian lengan robot dalam menemukan konsentrasi gas bensin atau butane, (a) tampak samping, (b) atas

4.3.3 Pengujian Pergerakan Lengan Robot Dalam Menemukan Konsentrasi Gas

Pengujian dilakukan dengan menempatkan lengan robot dan sampel gas yang berjarak 15 cm. Gas yang digunakan dalam benda mencurigakan yaitu sampel gas bensin dan butane. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui pergerakan lengan robot dalam mendeteksi adanya gas. Benda berisi gas tersebut diletakkan pada tiga posisi sudut di depan robot yaitu 60° , 90° , dan 120° . Titik konsentrasi pada benda berada 25 cm dari lantai, dan posisi terendah ujung lengan robot dari lantai yaitu 20 cm dan tertinggi 28 cm. Adapun *setting* pengujian lengan robot dalam menemukan konsentrasi gas bensin dan butane seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22. Ketika pertama kali dijalankan terlihat posisi origin pada lengan robot yaitu 90° , 45° dan -45° untuk motor servo 1, 2 dan 3. Pengambilan data dilakukan selama lebih kurang 35 detik untuk masing-masing posisi target yang berisi gas bensin dan butane.

1) Pengujian lengan robot dengan benda berisi gas bensin.

Adapun respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas bensin pada benda ditunjukkan pada Gambar 4.23. Berdasarkan Gambar 4.23(a), memperlihatkan respon sensor gas dalam mendeteksi gas pada benda yang berada di sebelah kanan yaitu 60° . Gerak pencarian *scanning* dilakukan apabila sensor gas kiri maupun kanan belum mencapai *threshold* 170 dan kendali logika *fuzzy* belum diaktifkan. Gerak pencarian *scanning* ini selalu menuju sudut yang lebih



Gambar 4.23. Respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas bensin pada benda, (a) target 60° , (b) 90° dan (c) 120°

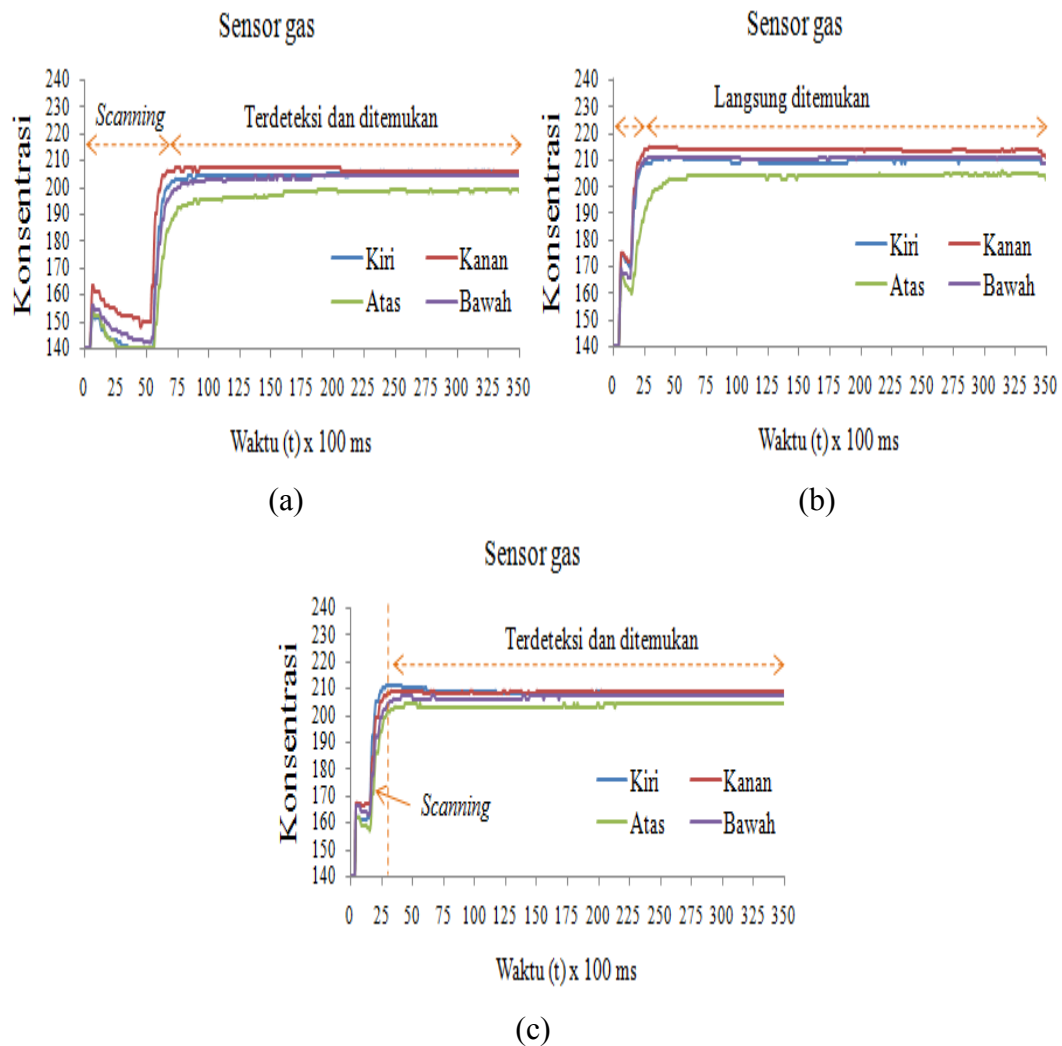
besar karena pada saat pertama kali algoritmanya diaktifkan maka lengan robot selalu menyeleksi kearah sudut yang besar yaitu 180° setelah itu langsung menuju sudut yang kecil sampai 0° , dan begitu seterusnya sampai mendeteksi gas. Gambar 4.23(b), menunjukan bahwa lengan robot langsung menuju target dan mendeteksi gas karena benda tepat berada di depan ujung lengan. Benda tersebut. Gambar 4.23(c), memperlihatkan respon sensor gas dalam mendeteksi gas pada target benda 120° , dimana benda berada di sebelah kiri. Pencarian *scanning* pada posisi benda tersebut lebih cepat karena arah pencariannya ke sudut yang besar. Adapun performa dari lengan robot dalam mendeteksi gas bensin pada benda ditunjukan pada Tabel 4.7. Error rata-rata lengan robot dalam mencapai target benda yang berisi gas bensin yaitu 4.37%.

Tabel 4.7. Pengujian lengan robot dalam mendeteksi target gas bensin.

Percobaan	Posisi (°)	Posisi yang dicapai (°)	Ketinggian yang terukur (cm)	Error (%)
1	60	64	22.5	6.67
2		66	24.8	10
3		58	26.1	3.33
4		58	23.8	3.33
5		67	23.0	11.67
1	90	87	24.4	3.33
2		94	26.1	4.44
3		94	22.4	4.44
4		85	24.8	5.55
5		91	24.1	1.11
1	120	125	27.5	4.17
2		121	21.3	0.83
3		117	26.5	2.5
4		118	26.0	1.7
5		117	24.0	2.5

Tabel 4.8. Pengujian lengan robot dalam mendeteksi target gas butane.

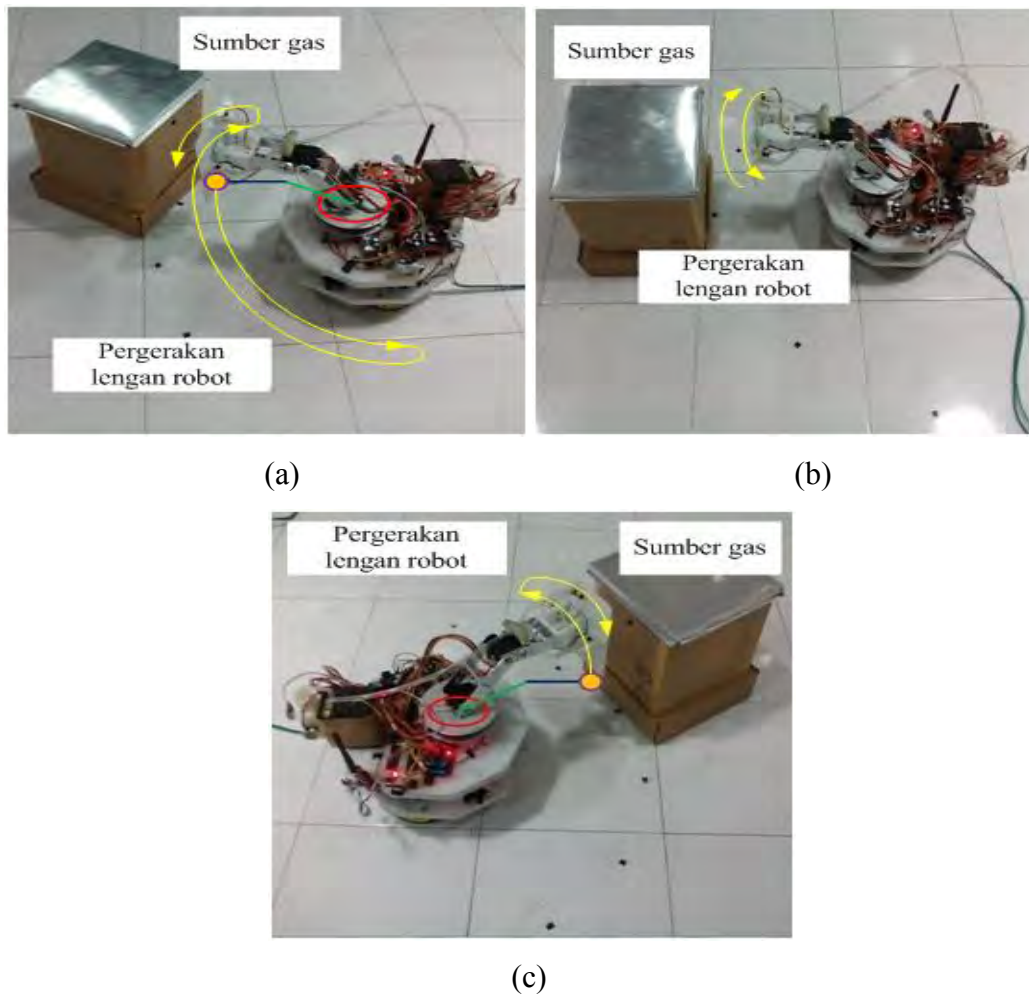
Percobaan	Posisi (°)	Posisi yang dicapai (°)	Ketinggian yang terukur (cm)	Error (%)
1	60	59	22.5	1.67
2		59	21.8	1.67
3		63	21.4	5
4		62	22.8	3.33
5		62	23.3	3.33
1	90	92	26.7	2.22
2		91	26.3	1.11
3		87	27.4	3.33
4		87	23.8	3.33
5		91	22.2	1.11
1	120	124	24.5	3.33
2		118	21.5	1.67
3		117	22.6	2.5
4		124	22.3	3.33
5		122	21.5	1.67



Gambar 4.24. Respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas butana pada benda, (a) target 60° , (b) 90° dan (c) 120°

2) Pengujian lengan robot dengan benda berisi gas butane.

Pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama pada gas bensin. Adapun respon sensor gas pada ujung lengan dalam mendeteksi gas butana pada benda ditunjukkan pada Gambar 4.24. Adapun performa dari lengan robot dalam mendeteksi gas butane pada benda ditunjukkan pada Tabel 4.8. *Error* rata-rata lengan robot dalam mencapai target benda berisi gas butane yaitu 2.57%. Dari hasil pengujian pada target benda menunjukkan bahwa respon dari empat sensor gas mampu mendeteksi gas bensin dan butane. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk mengetahui performa dari lengan robot tersebut. Adapun respon waktu yang diperlukan kurang dari 10 detik, dan ketinggian yang terukur dari titik



Gambar 4.25. Ilustrasi pergerakan lengan robot dalam mendeteksi gas bensin dan butane pada benda, (a) target 60° , 90° dan (c) 120°

tengah ujung lengan terhadap lantai berkisar 21.3 cm sampai 27.5 cm. Oleh karena itu konsentrasi gas yang terdeteksi diketahui pada area yang ditunjukkan oleh ujung lengan robot. Perlu diketahui bahwa udara yang berada di sekitar benda mempengaruhi arah (*plume*) deteksi dari ujung lengan robot. Adapun ilustrasi pergerakan lengan robot dalam mendeteksi gas bensin dan butane pada benda ditunjukkan pada Gambar 4.25.

4.4 Pengujian *E-nose*

Identifikasi jenis gas bertujuan untuk mengetahui suatu gas yang dideteksi oleh deret sensor gas (*e-nose*). Dimana *e-nose* akan di dekatkan dengan benda yang berisi gas. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian :

4.4.1 Pengambilan Pola Tegangan Sensor Gas Untuk Setiap Sampel Gas

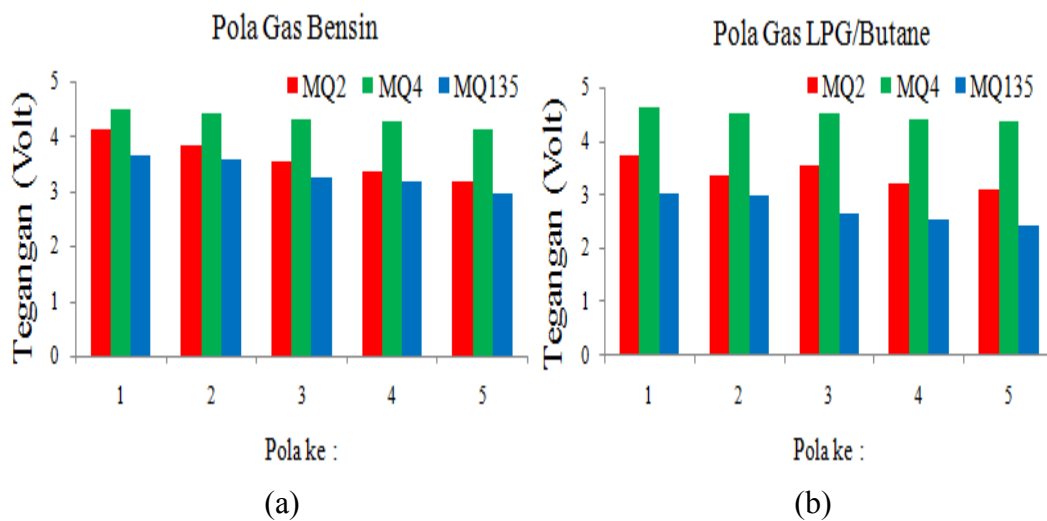
Pengambilan pola jenis gas menggunakan tiga buah sensor gas tipe MQ, yaitu MQ2, MQ4, dan MQ135. Pada pengujian ini digunakan dua sampel gas yaitu gas bensin dan butane. Pengujian ini dilakukan sebanyak lima kali terhadap jenis gas yang diuji pada jarak yang berbeda-beda, dimana pola yang dibentuk dari deret sensor gas disimpan untuk dilatih menggunakan teknik SVM. Respon dari gas bensin ditunjukkan pada Tabel 4.9. Respon dari gas butane ditunjukkan pada Tabel 4.10. Data pola dari jenis gas tersebut dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial *wireless*. Agar memudahkan dalam proses pelatihan pada SVM *one vs other* di dalam komputer maka data tersebut dibagi dengan sepuluh untuk masing-masing respon keluaran sensor gas MQ2, MQ4 dan MQ135. Adapun bentuk pola dari jenis gas bensin dan butane ditunjukkan pada Gambar 4.26.

Tabel 4.9. Respon dari gas bensin

Pola ke :	Tegangan rata-rata (volt)		
	Sensor MQ2	Sensor MQ4	Sensor MQ135
1	4.14	4.51	3.65
2	3.83	4.43	3.57
3	3.54	4.30	3.24
4	3.36	4.26	3.18
5	3.16	4.14	2.97

Tabel 4.10. Respon dari gas butane

Pola ke :	Tegangan rata-rata (volt)		
	Sensor MQ2	Sensor MQ4	Sensor MQ135
1	3.75	4.65	3.03
2	3.36	4.51	2.99
3	3.55	4.53	2.64
4	3.22	4.39	2.52
5	3.09	4.36	2.44



Gambar 4.26. Bentuk pola dari sampel gas, (a) gas bensin dan (b) butane

4.4.2 Pengujian *E-nose* Dengan SVM Untuk Identifikasi Gas

Pengujian ini dengan cara meletakkan sumber gas di depan ujung lengan robot dengan variasi jarak antara 3 cm sampai 15 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *e-nose* yang telah dilatih menggunakan SVM dalam mengidentifikasi gas bensin dan butane. Pada proses klasifikasi, kelas pertama yaitu gas bensin dan kelas lainnya bukan gas bensin, kelas kedua yaitu gas butane dan kelas lainnya bukan gas butane. Ketika gas bensin tidak dikenali maka SVM akan membandingkan dengan kelas kedua, begitupun untuk kasus kelas gas butane.

Pada SVM yang telah dirancang terdapat dua parameter yaitu C dan kernel γ yang digunakan dalam proses pelatihan dan pengujian. Dimana nilai parameter tersebut sangat mempengaruhi tingkat keberhasilan SVM untuk proses klasifikasi. Oleh karena itu perlu ditentukan nilai parameter yang tepat. Oleh karena itu pada pengujian ini diberikan nilai C yang tetap yaitu seratus dan parameter kernel γ yang bervariasi untuk menemukan klasifikasi SVM terbaik. Hasil pengujian identifikasi gas bensin dan butane menggunakan klasifikasi SVM *one vs other* ditunjukkan pada Tabel 4.11. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.10 teknik klasifikasi SVM mampu mengidentifikasi gas tersebut yang telah diujikan mencapai keberhasilan dengan hasil pengenalan yang baik. Rata-rata akurasi untuk pengenalan tiga jenis gas tersebut dengan 60 sampel data pengujian sebesar

100% untuk gas bensin, 99.20% untuk gas butane. Kesalahan yang terjadi dalam pengenalan pola bisa terjadi karena masih adanya sisa gas lain atau gas sebelumnya yang masih menempel di sensor, dan respon keluaran sinyal tegangan sensor yang tidak konsisten karena konsentrasi gas yang dipengaruhi oleh udara.

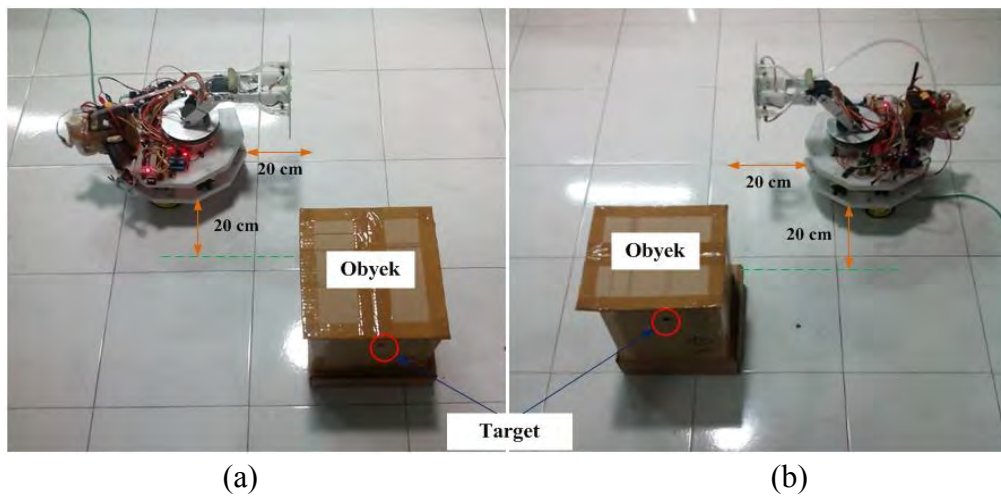
Tabel 4.11. Hasil pengujian identifikasi gas bensin dan butane menggunakan klasifikasi SVM *one vs other*

Pengujian ke :	Parameter Kernel (γ)	Jumlah sampel	Akurasi (%)	
			Bensin	LPG/butane
1	1	60	100	100
	10	60	100	100
	100	60	100	100
	1000	60	100	100
	10000	60	100	90
2	1	60	100	96.67
	10	60	100	100
	100	60	100	100
	1000	60	100	100
	10000	60	100	96.67
3	1	60	100	98.33
	10	60	100	100
	100	60	100	100
	1000	60	100	100
	10000	60	100	98.33
4	1	60	100	100
	10	60	100	100
	100	60	100	100
	1000	60	100	100
	10000	60	100	100
5	1	60	100	100
	10	60	100	100
	100	60	100	100
	1000	60	100	100
	10000	60	100	100

Selanjutnya evaluasi performansi dari klasifikasi SVM dapat ditentukan berdasarkan pada empat pengukuran seperti akurasi untuk mengetahui kemampuan SVM dalam mengklasifikasi data berdasarkan kelas yang berbeda, *recall* untuk mengetahui rasio ketepatan dalam pendeteksian dari keseluruhan sampel uji, *precision* yaitu seberapa banyak deteksi yang benar dari jumlah sampel pada klasifikasi yang diduga benar sedangkan *f-score* yaitu mengkombinasikan antara *precision* dan *recall*. Pengukuran tersebut diperoleh dengan menghitung parameter dasar, diantaranya *true positif* (TP): menyatakan bahwa jika sampel yang diuji gas bensin namun tetap terdeteksi gas bensin, *false positif* (FP): menyatakan sampel gas bensin namun yang terdeteksi bukan gas bensin, *true negative* (TN): jika sampel bukan gas bensin maka yang terdeteksi juga bukan gas bensin, dan *false negative* (FN): sampel bukan gas bensin namun terdeteksi gas bensin. Begitu juga cara menghitung nilai TP, FP, TN dan FN untuk gas butane. Data percobaan sebanyak 300 sampel yang terdiri dari 150 sampel gas bensin dan 150 sampel gas butane, dan data tersebut diambil secara acak. Parameter kernel yang digunakan yaitu seratus, yang dipakai pada saat pengujian secara *online* untuk mengetahui performa SVM. Adapun evaluasi performansi dari klasifikasi SVM dalam mengidentifikasi gas bensin dan butane ditunjukkan pada Tabel 4.12. Sehingga diketahui akurasi rata-rata kemampuan SVM dalam mengidentifikasi gas sebesar 98.84%.

Tabel 4.12. Evaluasi performansi dari klasifikasi SVM dalam mengidentifikasi gas bensin dan butane

No.	Pengukuran	Jenis gas	
		Bensin	Butane
1	$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\%$	100%	97.67%
2	$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$	100%	93.46%
3	$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$	100%	100%
4	$F - score = \frac{2 \times precision \times recall}{recall + precision}$	100%	96.62%



Gambar 4.27. *Setting* percobaan *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda, (a) sisi kanan, (b) kiri

4.5 Pengujian *Olfactory Arm Mobile Robot*

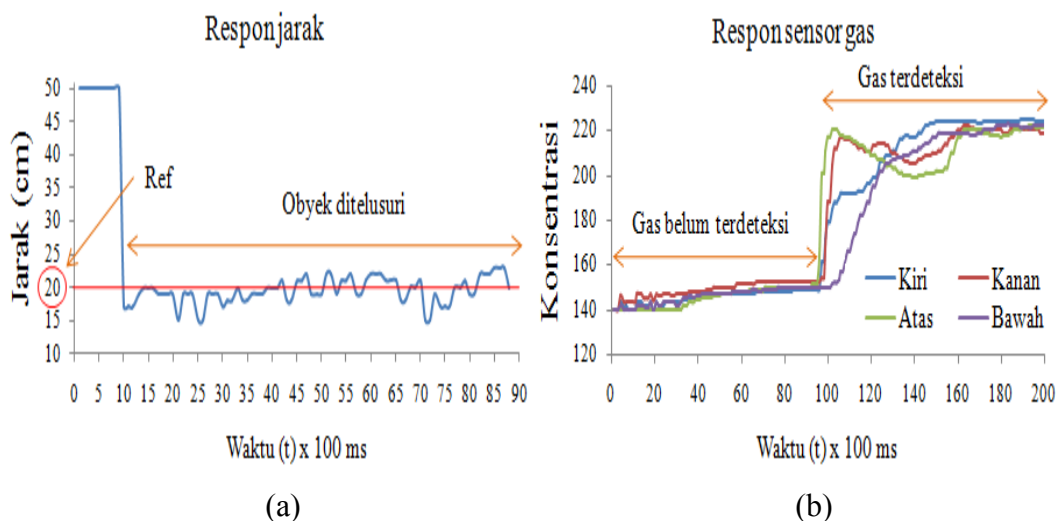
Pada tahap pengujian ini yaitu penggabungan antara *mobile robot*, lengan robot dan *e-nose* yang bertujuan mengetahui pergerakan dari sistem secara bersamaan dalam menginspeksi benda sumber gas. Untuk gerak *scanning* lengan robot hanya dilakukan secara vertikal karena gerak *scanning* horizontalnya dibantu oleh *mobile robot* yang mengelilingi dinding benda tersebut. *Setting* percobaan *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27. Gerakan otomatis diaktifkan ketika robot dekat pada sisi kanan atau kiri benda. Pengujian ini dilakukan selama satu kali putaran baik itu untuk sisi kanan maupun kiri dalam mengelilingi benda. Adapun pengujian untuk mengetahui respon dari pergerakan *olfactory arm mobile robot* sebagai berikut :

4.5.1 Pengujian *Olfactory Arm Mobile Robot* Menginspeksi Benda Berisi Gas Bensin

Sebelum gas diletakan di dalam benda, perlu diketahui respon dari robot dalam menginspeksi benda. Ketika *mobile robot* berada di sisi kanan benda maka ujung lengan robot mengarah ke dinding benda tersebut, begitupun juga untuk yang sisi kiri. Karena algoritma yang ditanamkan untuk gerak *scanning* lengan robot berdasarkan pembacaan jarak terdekat dengan benda yang berada di

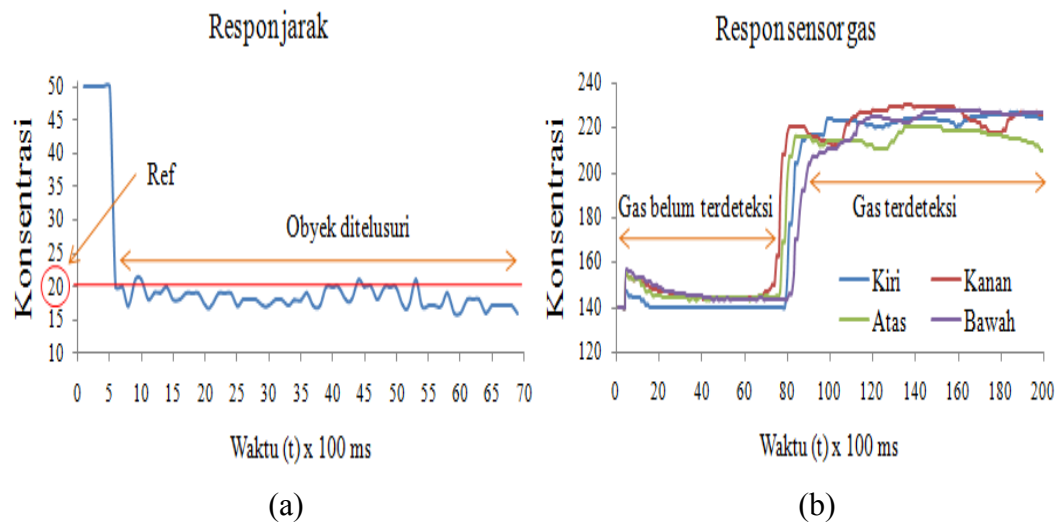
samping kanan maupun kiri robot. Jika konsentrasi gas belum terdeteksi maka robot tetap menginspeksi benda tersebut sampai konsentrasi gas terdeteksi. Namun jika selama beberapa putaran tidak terdeteksi adanya gas maka benda tersebut tidak mengandung gas.

Pada percobaan untuk pergerakan sisi kanan robot dalam menginspeksi target benda, saat robot pertama kali dijalankan maka robot berada pada jarak terdekat target, kemudian robot berjalan sampai jarak benda terdeteksi kurang dari 50 cm. Setelah itu kendali logika *fuzzy* pada robot mengontrol posisi jarak untuk mendekati *set point* 20 cm terhadap benda. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas bensin ditunjukkan pada Gambar 4.28. Robot tersebut mendeteksi jarak dinding benda pada waktu ke 1.1 detik dengan jarak kisaran (20 ± 4) cm. Robot berhenti pada waktu ke 8.8 detik yang menunjukkan bahwa sensor gas pada ujung lengan robot mendeteksi gas. Ketika sensor gas mendeteksi adanya gas maka *mobile robot* bermanuver untuk menghadap kearah depan benda, kemudian kendali logika *fuzzy* pada lengan robot diaktifkan untuk mengatur pergerakan agar menuju konsentrasi gas yang lebih besar pada benda tersebut. Berdasarkan Gambar 4.28, gas terdeteksi oleh sensor gas pada ujung lengan pada waktu ke 11.0 detik.



Gambar 4.28. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas bensin, (a) respon jarak, (b) sensor gas

Setelah dilakukan pengujian pada pergerakan sisi kanan maka dilanjutkan dengan percobaan pada pergerakan sisi kiri robot. Pada percobaan untuk pergerakan sisi kiri robot dalam menginspeksi target benda berisi bensin, saat robot pertama kali dijalankan maka robot juga berada pada jarak terdekat target benda, kemudian robot berjalan sampai jarak benda terdeteksi kurang dari 50 cm. Setelah itu kendali logika *fuzzy* pada robot tetap untuk tetap mendekati *set point* 20 cm pada sisi kiri benda. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas bensin ditunjukkan pada Gambar 4.29. Robot tersebut mendeteksi jarak dinding benda pada waktu ke 0.6 detik dengan jarak kisaran (20 ± 4) cm. Robot berhenti pada waktu ke 6.7 detik yang menunjukkan bahwa sensor gas pada ujung lengan robot mendeteksi konsentrasi gas. Ketika sensor gas mendeteksi konsentrasi gas maka *mobile robot* bermanuver untuk menghadap kearah depan benda, kemudian kendali logika *fuzzy* pada lengan robot diaktifkan agar menuju konsentrasi gas yang besar pada benda. Berdasarkan Gambar 4.29, Gas terdeteksi oleh ujung pada waktu ke 10.5 detik.



Gambar 4.29. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas bensin, (a) respon jarak, (b) sensor gas

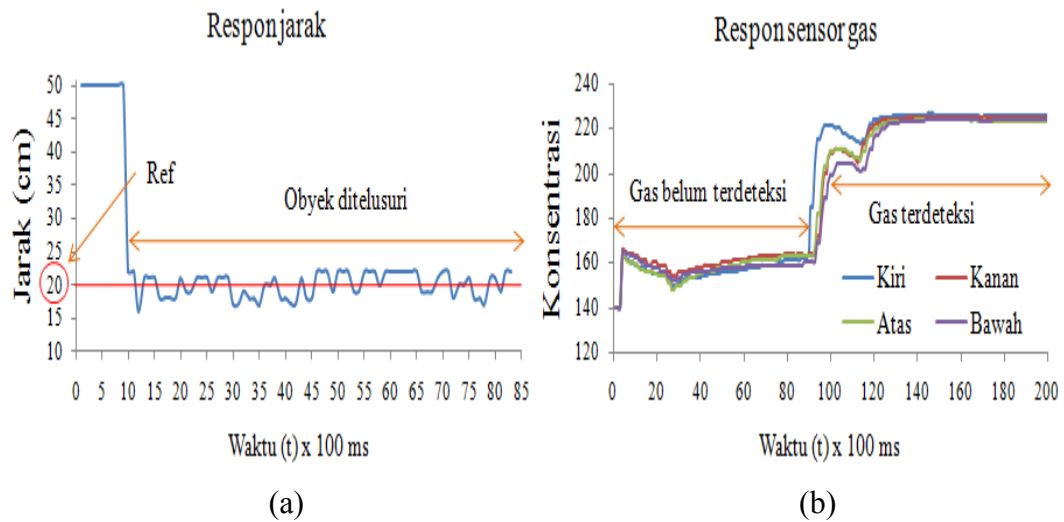
Tabel 4.13. Hasil pengujian *olfactory robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin

Percobaan	Sisi obyek	Ketinggian yang terukur (cm)	Simpangan ujung lengan dari target konsentrasi (cm)	Keterangan
1	Kanan	22.4	3.3 (ke kiri)	Terdeteksi
2		22	4.4 (ke kanan)	Terdeteksi
3		21.5	4.5 (ke kiri)	Terdeteksi
4		21	4.0 (ke kiri)	Terdeteksi
5		22.2	7.6 (ke kiri)	Terdeteksi
1	Kiri	21.4	3.6 (ke kiri)	Terdeteksi
2		23	5.4 (ke kiri)	Terdeteksi
3		22.5	4.4 (ke kiri)	Terdeteksi
4		20	3.6 (ke kanan)	Terdeteksi
5		21.2	6.6 (ke kanan)	Terdeteksi

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap sisi dari benda sehingga ada 10 kali pengujian. Hasil pengujian *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin ditunjukkan pada Tabel 4.13. Pada pengujian yang telah dilakukan, dari 10 kali pengujian robot berhasil dalam mendeteksi adanya konsentrasi gas pada benda dengan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100%. Rata-rata jarak titik tengah ujung lengan dari lantai sebesar 21.72 cm, dengan kisaran simpangan jarak ujung lengan dari posisi target yaitu 3.3 cm ke kanan atau 7.6 ke kiri. Hal ini menunjukkan bahwa gas yang terdeteksi diketahui berdasarkan area yang ditunjukkan oleh ujung lengan.

4.5.2 Pengujian *Olfactory Arm Mobile Robot* Menginspeksi Benda Berisi Gas Butane

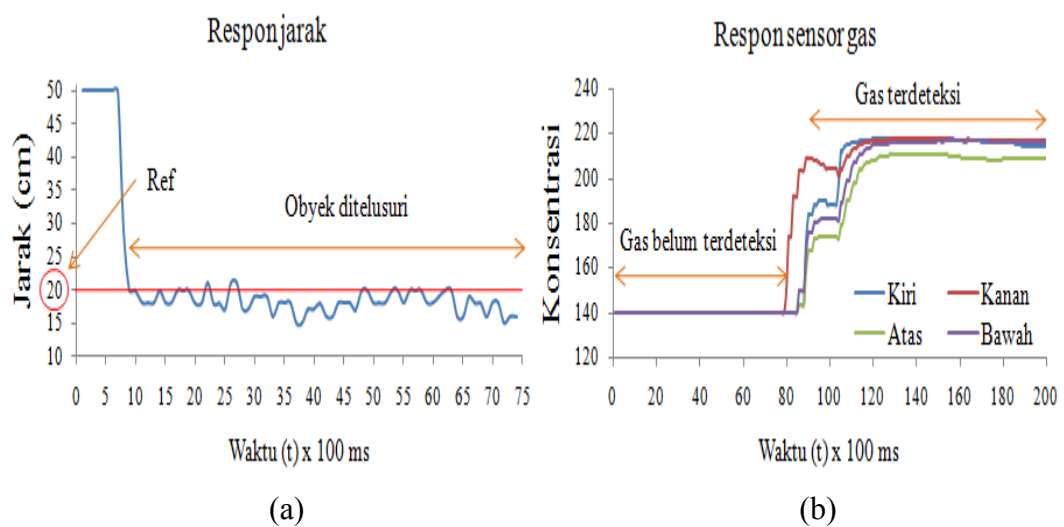
Pengujian ini sama seperti yang dilakukan pada pengujian dengan menggunakan gas bensin. Pengujian dilakukan untuk pergerakan sisi kanan dan sisi kiri dari robot. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas butane ditunjukkan pada Gambar 4.30. Robot tersebut mendeteksi jarak dinding benda pada waktu ke 1.1 detik dengan jarak kisaran (20 ± 3) cm. Robot berhenti pada waktu ke 8.1 detik yang menunjukkan bahwa



Gambar 4.30. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kanan benda berisi gas butane, (a) respon jarak, (b) sensor gas

sensor gas pada ujung lengan robot mendeteksi konsentrasi gas. Ketika gas terdeteksi maka *mobile robot* bermanuver menghadap arah depan benda, sehingga logika *fuzzy* yang diimplementasikan pada lengan robot dapat menemukan gas dengan dugaan yang kuat. Berdasarkan Gambar 4.30, Gas ditemukan oleh ujung lengan robot pada waktu ke 11.3 detik.

Pengujian dilanjutkan pada sisi kiri pergerakan robotnya. Robot juga mampu mendekati *set point* 20 cm terhadap sisi kiri benda. Hasil perubahan posisi



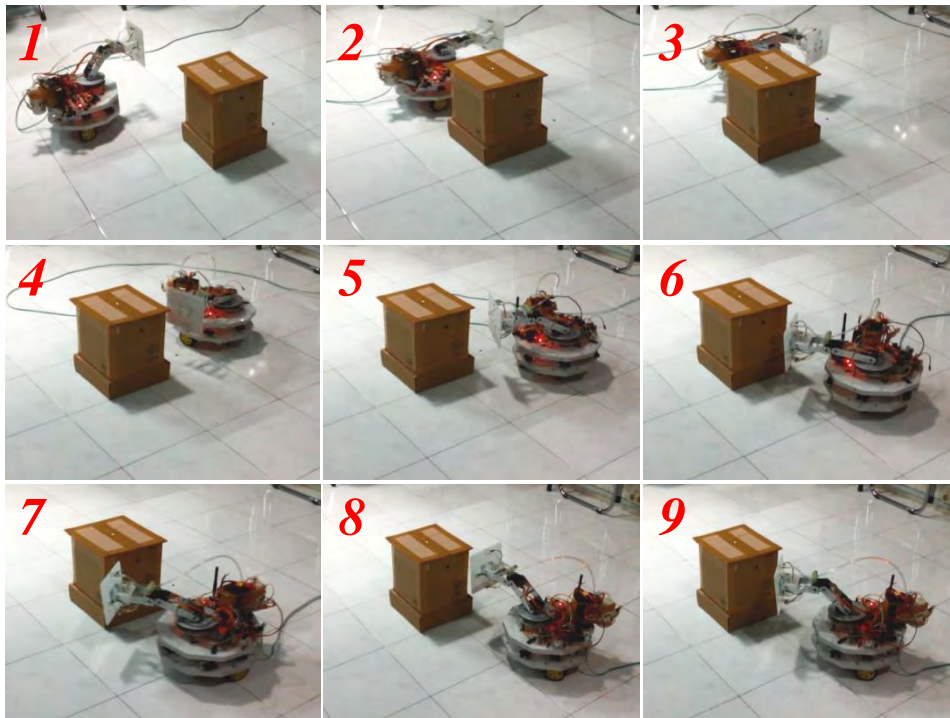
Gambar 4.31. Hasil perubahan posisi jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas butane, (a) respon jarak, (b) sensor gas

jarak robot dan respon sensor gas dari sisi kiri benda berisi gas butane ditunjukkan pada Gambar 4.31. Robot tersebut mendeteksi jarak dinding benda pada waktu ke 1 detik dengan jarak kisaran (20 ± 4) cm. Robot berhenti pada waktu ke 7.2 detik yang menunjukkan bahwa konsentrasi gas terdeteksi, dan *mobile robot* bermanuver menghadap arah depan benda. Berdasarkan Gambar 4.31, Gas ditemukan oleh ujung lengan robot pada waktu ke 11.0 detik.

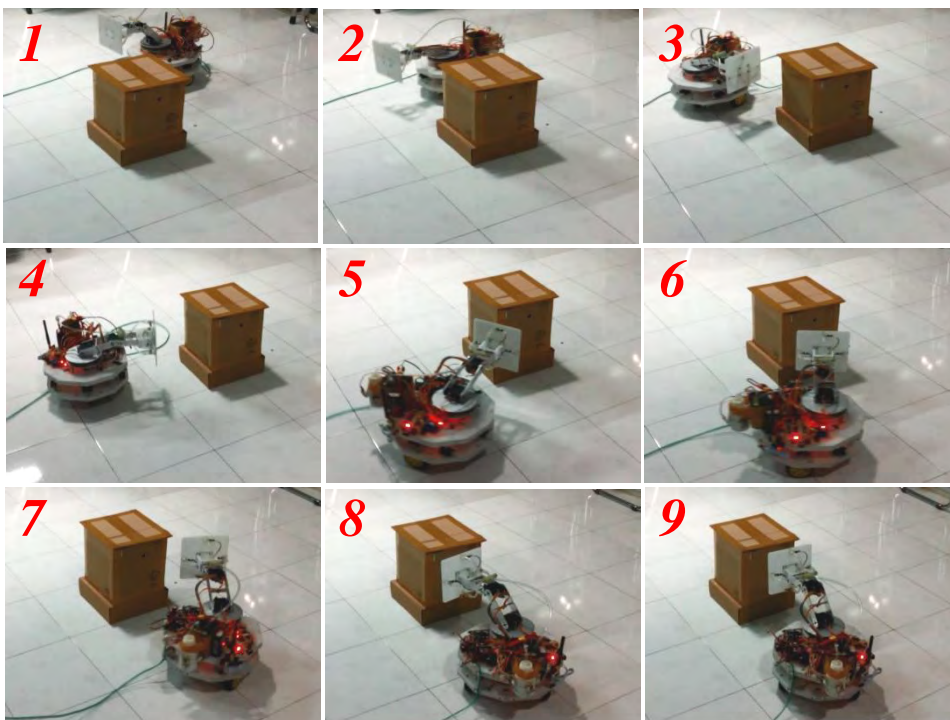
Pengujian juga dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap sisi dari benda sehingga ada 10 kali pengujian. Hasil pengujian *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas butane ditunjukkan pada Tabel 4.14. Pada pengujian yang telah dilakukan, dari 10 kali pengujian robot berhasil dalam mendeteksi adanya konsentrasi gas pada benda dengan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100%. Rata-rata jarak titik tengah ujung lengan dari lantai sebesar 20.9 cm, dengan kisaran simpangan jarak ujung lengan dari posisi target yaitu 3.6 cm ke kanan atau 3.4 ke kiri. Hal ini menunjukkan bahwa gas yang terdeteksi juga diketahui berdasarkan area yang ditunjukkan oleh ujung lengan. Adapun snapshot pergerakan sisi kanan dan kiri *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin atau butane ditunjukkan pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33.

Tabel 4.14. Hasil pengujian *olfactory robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas butane

Percobaan	Sisi obyek	Ketinggian yang terukur (cm)	Simpangan ujung lengan dari target konsentrasi (cm)	Keterangan
1	Kanan	21.2	2.3 (ke kiri)	Terdeteksi
2		21	2.5 (ke kiri)	Terdeteksi
3		20.5	1.5 (ke kanan)	Terdeteksi
4		20	2.0 (ke kiri)	Terdeteksi
5		21.2	3.6 (ke kanan)	Terdeteksi
1	Kiri	22.4	2.3 (ke kanan)	Terdeteksi
2		21	1.5 (ke kanan)	Terdeteksi
3		20.5	3.4 (ke kiri)	Terdeteksi
4		20	3.0 (ke kiri)	Terdeteksi
5		21.2	2.6 (ke kanan)	Terdeteksi



Gambar 4.32. *Snapshot* pergerakan sisi kanan *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda berisi gas bensin atau butane



Gambar 4.33. *Snapshot* pergerakan sisi kiri *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda berisi gas bensin atau butane

4.5.3 Evaluasi *Olfactory Arm Mobile Robot* Terhadap Sampel Jenis Gas

Pengujian ini dilakukan sebanyak 25 kali untuk gas bensin dan butane secara bergantian di dalam benda, yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari *olfactory arm mobile robot*. Adapun hasil pengujian *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda berisi gas bensin dan butane ditunjukkan pada Tabel 4.15. Dari 25 sampel pengujian, *olfactory arm mobile robot* dengan

Tabel 4.15. Hasil pengujian *olfactory arm mobile robot* dalam menginspeksi benda yang berisi gas bensin dan butane

Pengujian	Sisi obyek	Gas uji	Luaran target dari sistem	Keterangan
1	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
2	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
3	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
4	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
5	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
6	Kanan	Bensin	Bensin	Berhasil
7	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
8	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
9	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
10	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
11	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
12	Kiri	Bensin	Bensin	Berhasil
13	Kanan	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
14	Kanan	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
15	Kanan	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
16	Kanan	LPG/butane	Bensin	Gagal
17	Kanan	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
18	Kanan	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
19	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
20	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
21	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
22	Kiri	LPG/butane	Bensin	Gagal
23	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
24	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil
25	Kiri	LPG/butane	LPG/butane	Berhasil

mengaplikasikan lengan robot berhasil dalam mendeteksi jenis gas yang diletakan dalam benda secara bergantian, namun *olfactory arm mobile robot* mengalami dua kali gagal dalam mengidentifikasi gas atau dengan tingkat keberhasilan sebesar 92%. Selain itu, udara sekitar benda dan masih menempelnya partikel gas sebelumnya pada sensor gas juga menjadi faktor kesalahan dalam identifikasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini yang berjudul “Implementasi kendali logika *fuzzy* dan pengenalan pola *support vector machine* pada *olfactory arm mobile robot* untuk identifikasi gas”, maka penulis mendapatkan kesimpulan yang memuat hasil pergerakan *mobile robot*, lengan robot dan akurasi *e-nose*, serta memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan.

Olfactory arm mobile robot dengan mengimplementasikan kendali logika *fuzzy* dan *support vector machine* berhasil menginspeksi dan mendeteksi gas pada benda. *Mobile robot* dilengkapi sensor jarak pada sisi kanan maupun kiri guna mengukur jarak supaya kendali logika *fuzzy* dapat mendekati jarak pada *set point* 20 cm terhadap dinding benda, dimana akurasi rata-rata dalam mengikuti dinding benda sisi kanan maupun kiri sebesar 91.95%. Lengan robot yang terintegrasi empat buah sensor gas dengan kendali logika *fuzzy* yang diaplikasikan pada *mobile robot* juga berhasil mendeteksi gas pada jarak terdekatnya. Gas yang terdeteksi oleh ujung lengan robot saat semua sensor gas mencapai konsentrasi gas melebihi *threshold* 170 dengan *error* rata-rata yaitu 3.47%, dengan respon waktu yang diperlukan kurang dari 10 detik. Sistem ini juga dilengkapi *e-nose* untuk mengenali jenis gas bensin dan butane menggunakan teknik klasifikasi SVM. Performansi untuk akurasi rata-rata dari *e-nose* dan SVM dalam mengidentifikasi jenis gas yaitu 98.84%. Namun secara keseluruhan sistem *olfactory arm mobile robot* berhasil mendeteksi gas pada bensin atau butane, dan berhasil dalam mengidentifikasi gas.

5.2 Saran.

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sistem perlu pengembangan mekanik yang lebih presisi terutama pada lengan robot. Lengan musti lebih panjang lagi supaya jangkauan untuk menuju benda mencurigakan yang berisi bensin atau LPG/butane bisa lebih jauh lagi. Konsentrasi gas diilustrasikan ke bentuk data digital sehingga pengembangan selanjutnya perlu dikonversi ke bentuk satuan konsentrasi yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Byun, H., and Lee S.W. (2003). "A Survey on Pattern Recognition Applications of Support Vector Machines". *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. Vol. 17, No. 3. Hal. 459-486.
- Burges, C. (1998). *A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition*. Data Mining and Knowledge Discovery. Hal. 121-167.
- Chowdhury, S.S., Tudu, B., Bandyopadhyay, R., and Bhattacharyya, N. (2008). "Portable Electronic Nose System for Aroma Classification of Black Tea". *IEEE Region 10 Colloquium and the Third ICIS*. Paper No. 305. Hal. 1-5.
- Cortes, C., and Vapnik, V. (1995). *Support Vector Networks*. Machine Learning. Hal. 273-297.
- El-Teleity, S., A.L., Nossair, Z.B., Mansour, H.M.A.K., dan TagElDein, A., (2011). "Fuzzy Logic Control of an Autonomous *Mobile robot*". *Methods and Models in Automation and Robotics, International Conference*. Hal. 188-193.
- Fahmizal dan Kuo, C.H., (2013). "Development of a *Fuzzy Logic Wall Following Controller for Steering Mobile robots*". *International Conference on Fuzzy Theory and Its Application*. Hal. 7-12.
- Farooq, U., Khalid, A., Amar, M., Habiba, A., Shafique, S., dan Noor, R., (2010). "Design and Low Cost Implementation of a *Fuzzy Logic Controller for Wall Following Behavior of a Mobile robot*". *International Conference on Signal Processing Systems*. Hal. 740-746.
- Fatmi, A., Yahmadi, A.A., Khriji, L., and Masmoudi, N. (2006). "A *Fuzzy Logic Based Navigation of a Mobile robot*". *World Academy of Science, Engineering and Technology*. Hal. 169-174.
- Frianto, H.T., dan Rivai, M. (2008). "Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dan Self Organizing Map Menggunakan Sensor gas Semikonduktor Sebagai Identifikasi Jenis Gas". *Seminar Nasional Informatika*, UPN "Veteran", Yogyakarta. Hal. 219-228.
- Gohil, V.J., Bhagwat, S.D., Raut, A.P., and Nirmal, P.R. (2013). "Robotics Arm Control Haptic Technology". *International Journal of Latest Research in Science and Technology*. Vol. 2, Issue 2. Hal. 98-102.

- Gustica, A.N., Rivai, M., dan Tasripan. (2014). "Implementasi Sensor Gas pada Kontrol Lengan Robot untuk Mencari Sumber Gas". *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 3, No. 1. Hal. 90-95.
- Hasan, N., Ejaz, N., Ejaz, W., and Kim, H.S. (2012). "Malicious Odor Item Identification using an Electronic Nose based on Support Vector Machine Classification". *The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics*. Hal. 399-400.
- Ishida, H., Ushiku, T., and Toyama, S. (2005). "Mobile robot Path Planning Using Vision and Olfaction to Search for a Gas Source". *Sensors. IEEE*. Hal. 1112-1115.
- Jiang, P., Zeng, M., Meng, Q., Li, F., and Li, Y. (2008). "A Novel Object Recognition Method for Mobile robot Localizing a Single Odor/Gas Source in Complex Environments". *Robotics, Automation and Mechatronics, IEEE Conference*. Hal. 1-5.
- Jiang, P., Meng, Q., and Zeng, M. (2010). "Mobile robot Gas Source Localization via Top-Down Visual Attention Mechanism and Shape Analysis". *Intelligent Control and Automation (WCICA), 8th World Congress*. Hal. 1818-1823.
- Jiang, P., Hong, X., dan Ge, A. (2014). "Mobile robot Gas Source Localization Based on Behavior Strategies". *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*. Hal. 8304-8308.
- Khare, R., Sapra, A., Gupta, I., Kumar, V., Khare, A., Wig, T, and Chawla, M. (2007). *Robotics*. Infinity Science Press, New Delhi.
- Lilienthal, A., Ulmer, H., Frohlich, H., Stutzle, A., Werner, F., and Zell, A. (2004a). "Gas Source Declaration With a Mobile robot". *Robotics and Automation. Proceedings ICRA, IEEE International Conference*. Vol. 2. Hal. 1430-1435.
- Lilienthal, A., Ulmer, H., Frohlich, H., Werner, F., and Zell, A. (2004b). "Learning to Detect Proximity to a Gas Source with a Mobile robot". *Intelligent Robot and System. Proceedings. IEEE/RSJ International Conference*. Vol. 2. Hal. 1444-1449.
- Li, Hao., and Yang, X. (2003). "A Behavior-Based Mobile robot With a Visual Landmark-Recognition System". *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. Vol. 8, No. 3. Hal. 390-400.

- Li, S., Weng, C., Chen, Y., Lo, C., Yang, M., Lin, Y., Hsieh, M., and Wong, C. (2012). "Servo Motor Controller Design for Robotic Manipulator". *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System (ISPACS)*. Hal. 254-257.
- Li, J., Meng, Q., Wang, Y., and Zeng, M. (2010). "Single Odor Source Declaration in Outdoor Time-variant Airflow Environment". *Robotics and Biomimetics (ROBIO), IEEE International Conference on*. Hal. 143-148.
- Loutfi, A., Coradeschi, S., Karlsson, L., and Broxvall, M. (2004). "Putting Olfaction into Action: Using an Electronic Nose on a Multi-Sensing *Mobile robot*". *IEEE/RSJ International Conference on*. Vol. 1. Hal 337-342.
- Loutfi, A., Broxvall, M., Coradeschi, S., and Karlsson, L. (2005). "Object Recognition: a New Application for Smelling Robots". *Robotics and Autonomous Systems*. Vol. 52, Issue 4. Hal. 272-289.
- Martinez, D., Moreno, J., Tresanchez, M., Teixido, M., Font, D., Pardo, A., Marco, S., and Palacin, J. (2014). "Experimental Application of an Autonomous *Mobile robot* for Gas Leak Detection in Indoor Environments". *Information Fusion (FUSION), 17th International Conference on*. Hal. 1-6
- Ramya, V., Palaniappan, B., and Akilan, T. (2013). "Embedded System for Robotic Arm Movement Control Using Web Server and Zigbee Communication". *International Journal of Computer Applications. Proceedings*. Hal. 30-34.
- Redden, E.S., Pettitt, R.A., Cartens, C.B., and Elliott, L.R. (2008). "Scalability of Robotic Displays: Display Size Investigation". *Human Research and Engineering Directorate, Army Research Laboratory*.
- Trincavelli, M. and Loutfy, A. (2010). "Feature Selection for Gas Identification With a *Mobile robot*". *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*. Hal. 2852-2857.
- Vijayakumar, S dan Wu, S. (1999). "Sequential Support Vector Classifiers and Regression". *Proc. International Conference on Soft Computing (SOCO'99)*. Hal. 610-619.
- Wang, X., Zhang, H.R, dan Zhang, C.J., (2005). "Signal Recognition of Electronic Nose Based on Support Vector Machines". *Proceeding of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*. Hal. 3394-3398.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Rendyansyah dilahirkan di Meranjat, Sum-Sel, 22 September 1988, merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Gunawan Eddy, Amd. Pd dan Ibu Rosmala Dewi. Penulis memulai pendidikan di SD Negeri 3 Meranjat, Sum-Sel, lalu melanjutkan di SLTP Negeri 2 Tanjung Batu, Sum-Sel. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SMA Negeri 1 Inderalaya, Sum-Sel. Pada tahun 2007 penulis diterima di Jurusan Teknik Komputer UNSRI dan menyelesaikan studi pada tahun 2011. Setelah menyelesaikan studi di tahap sarjana, pada tahun 2013 penulis mendapatkan beasiswa BPPDN Dikti untuk meneruskan pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan memilih bidang keahlian Teknik Elektronika Industri.

e-mail : rdyrsyh@gmail.com